VALTION MAATALOUSKOETOIMINNAN JULKAISUJA N:o 116
DIE STAATLICHE LANDWIRTSCHAFTLICHE VERSUCHSTÄTIGKEIT
VERÖFFENTLICHUNG N:o 116

ELÄINLANTAA KOSKEVIA KOKEITA JA TUTKIMUKSIA

I

AMMONIAKIN HAIHTUMISEN MUODOSSA TAPAHTUVISTA TYPEN HÄVIÖISTÄ

T. J. VIRRI
SATAKUNNAN KASVINVILJELYSKOEASEMA
PEIPOHJA

REFERAT:
VERSUCHE UND UNTERSUCHUNGEN ÜBER STALLDÜNGER
I
ÜBER STICKSTOFFVERLUSTE IN FORM
VON AMMONIAKVERDUNSTUNG

HELSINKI 1941



VALTION MAATALOUSKOETOIMINNAN JULKAISUJA N:o 116
DIE STAATLICHE LANDWIRTSCHAFTLICHE VERSUCHSTÄTIGKEIT VERÖFFENTLICHUNG N:o 116

ELÄINLANTAA KOSKEVIA KOKEITA JA TUTKIMUKSIA

I

AMMONIAKIN HAIHTUMISEN MUODOSSA TAPAHTUVISTA TYPEN HÄVIÖISTÄ

T. J. VIRRI

SATAKUNNAN KASVINVILJELYSKOEASEMA
PEIPOHJA

REFERAT:

VERSUCHE UND UNTERSUCHUNGEN ÜBER STALLDÜNGER

I

ÜBER STICKSTOFFVERLUSTE IN FORM VON AMMONIAKVERDUNSTUNG

HELSINKI 1941

Helsinki 1941. Valtioneuvoston kirjapaino.

Sisällysluettelo.

Alkusanat.

Satakunnan kasvinviljelyskoeasemalla tekemieni eläinlantaa koskevien tutkimusten suorittamiselle on ollut erinomaisen tärkeätä, että Maatalouden Koetoiminnan Keskusvaliokunta ja erikoisesti sen puheenjohtaja Toht. E. Kitunen on suhtautunut näihin töihini erittäin suopeasti. Mitä mieluisin velvollisuuteni on lausua siitä kunnioittavimmat kiitokseni.

Pitkän ajan kuluessa on Prof. Pauli Tuorila osoittanut tutkimustani kohtaan erittäin suurta harrastusta ja antanut minulle sangen monta ylen arvokasta neuvoa ja opastusta. Mitä suurimman kiitollisuuden olen hänelle velkaa tästä kaikesta. Prof. Jaakko Keränen antoi minulle arvokasta apua tuuletuksen nopeuden vertaamiseksi luonnollisiin olosuhteisiin. Tästä lausun parhaimman kiitokseni.

Kiitän myös apulaisiani ja kaikkia muita henkilöitä, jotka ovat jollakin tavoin tutkimuksen suorittamisessa minua auttaneet.

Tekijä.

Johdanto.

Suomen maataloudessa on kotoisilla lantavaroilla perustava merkitys. Sillä vaikka väkilannoitteiden osuus peltojen lannoituksessa onkin jatkuvasti lisääntynyt, muodostaa eläinlanta edelleenkin ja varsinkin kivennäismailla kaiken lannoituksen ytimen. Sen vaikutusta voidaan väkilannoitteilla sopivasti täydentää ja tehostaa, mutta kaikissa olosuhteissa tuskin korvata. Eläinlannan kasvinravinto-aineet ovat kuitenkin sekä lannan säilytyksen aikana että sen levityksen, jopa multauksenkin jälkeen alttiita suurille häviöille. Näin on asianlaita varsinkin lannan arvokkaimmaksi tunnettuun kasvutekijään, typpeen nähden. Eri tavoilla syntyvien typen häviöiden lasketaan tuottavan maallemme vuosittain satoihin miljooniin markkoihin nousevan vahingon (vert. esim. TUORILA, 1941). Järkiperäisen lannan hoidon ja sen käytössä tapahtuvan käsittelyn pää-asiallisimpana tarkoituksena onkin näiden tappioiden supistaminen pienimpään mahdolliseen. Eläinlantaa koskevan tutkimuksen tärkeimpiin tehtäviin kuuluu näin ollen käytäntöön soveltuvien keinojen etsiminen tuon päämäärän saavuttamiseksi. Onnistuminen tappion rajoittamisessa pienimpään mahdolliseen määrään edellyttää, että tappion syntymän luonne tarkoin tunnetaan. Kysymystä on tutkittu suhteellisen vähän. Siitä johtuen alan tieteellinen kirjallisuuskin, eritoten kotimainen on verraten niukkaa. Kansantajuisessa ammattikirjallisuudessa samoinkuin muussakin käytännöllisessä neuvontatoiminnassa tosin puhutaan eläinlannan typen menetyksestä ja sen välttämisestä hyvin paljon. Mutta selvää on, ettei neuvonnan perustus voi olla riittävän vahva niin kauan kuin tietopiirissämme on häviöiden syntymän teoriaan nähden suuria aukkoja.

Typen tiedetään häviävän eläinlannasta monella eri tavalla. Liukoiset typpiyhdistykset voivat huuhtoutua, s. o. hävitä liuenneina lannasta pois juoksevan veden mukana. Määrätynlaisissa olosuhteissa lannassa muodostuva nitriitti- ja nitraattityppi voi eräiden bakteerien elintoiminnan vaikutuksesta happiköyhään tilaan jou-

duttuaan pelkistyä, jolloin kasveille arvotonta elementaarista typpeä syntyy. Tällaisen biologisen denitrifikation lisäksi lannassa voi tapahtua nitriitin ja nitraatin pelkistymistä hapen läsnäollessakin ja ilman bakteerien välitöntä vaikutusta. Tämän toistaiseksi vähän tutkitun kemiallisen denitrifikation merkitys voi kuitenkin olla huomattava (vert. esim. RUSCHMANN, 1931, s. 190). Niinpä on mahdollista, että tällä on huuhtoutumisen rinnalla merkittävä osuus kauan säilytetyn lantatunkion pintakerroksen köyhtymiseen nitraattitypenkin suhteen.

Suuria typpimääriä poistuu kasvien saatavilta myös siten, että epäorgaaniset typpi-yhdistykset sitoutuvat mikro-organismien valkuais-aineiksi. Tämä typen biologinen sitoutuminen ei tosin merkitse sellaisenaan ehdotonta typen katoa, sillä täten syntyneet valkuaisaineet saattavat ennemmin tai myöhemmin ammonisoitua ja nitrifioitua uudelleen, jolloin typpi jälleen palautuu kasveille sopivaan muotoon. Missä määrin biologinen sitoutuminen on katsottava vahingolliseksi, milloin taas hyödylliseksi, ei ole selvitetty. Mutta ilmeistä on, että tämä on vahingollista, jos se tapahtuu erikoisen vilkkaasti kasvukauden alussa, siis samaan aikaan, jolloin viljelyskasvienkin typen tarve on yleensä suurimmillaan. Mutta kasvukauden lopussa biologinen sitoutuminen on ilmeisen hyödyllistä, koska maahan kertynyt salpietari siten välttyy denitrifikatiolta ja estyy huuhtoutumasta syksyn, talven ja kevään kuluessa.

Lannan säilytyksen aikana ja sen käsittelyn eri vaiheissa tapahtuva ammoniakin haihtuminen merkitsee aina ehdotonta typen katoa. Kaikista lannan typen häviöistä suurin osa tapahtunee tätä tietä, ja siksi sen merkitys on taloudellisestikin ensiarvoisin. Käsillä olevassa tutkimuksessa kiinnitetäänkin päähuomio ammoniakin haihtumisessa tapahtuvaan typen katoon ja keinoihin, joilla tämä saadaan supistumaan käytännössä mahdollisimman vähäiseksi. Erikoista huomiota olen kiinnittänyt niihin häviöihin, jotka syntyvät lannan tai virtsan levityksen jälkeen, koska nimenomaan niihin nähden on olemassa paljon epätietoisuutta. En ole voinut toivoakaan, että tämä laaja ja monisäikeinen kysymys olisi tullut tällä tutkimuksella kaikin puolin tyydyttävästi selvitetyksi. Mutta jos minun on onnistunut hankkia vähäisiäkään lisätietoja ennestään puutteellisesti tunnettuihin yksityis-seikkoihin, voi tutkimuksestani käytäntöön sovellettuna ajan mittaan koitua hyötyä maataloudellemme.

I. Ammoniakin haihtumisen kemiallisista ja fysikalisista perusteista.

Ammoniakin liuetessa veteen otaksutaan syntyvän jonkin verran ammoniumhydroksidia reaktio-yhtälön $NH_3 + H_2O = NH_4OH$ mukaan. Tätä hydroksidia ei ole kuitenkaan tavattu, sillä sikäli kuin sitä syntyy, se dissosioituu täydelleen yhtälön $NH_4OH \rightleftarrows NH_4^+ + OH^-$ mukaan, josta johtuen ammoniakin vesiliuos on emäksinen. Kun ammoniumhydroksidin olemassa-olo on varsin kyseen alainen, on ammoniakin dissosiatiovakiokin ainoastaan näennäinen. Tämän näennäisen dissosiatiovakion (k) arvoksi on saatu 25° C lämpötilassa

$$k = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]} = 1.87 \times 10^{-5} \qquad (1)$$

Tästä yhtälöstä voi päätellä, että ammoniakki on vesiliuoksessa melkein kokonaan helposti haihtuvan NH_3:n muodossa, jotavastoin haihtumatonta ammoniumionia (NH_4^+) on ainoastaan pieni murto-osa.

Massanvaikutuksen lain mukaan edellä oleva dissosiatioyhtälö (1) pätee kaikkiin liuoksiin nähden, joissa on NH_4^+:a tai NH_3:a. Jos emästä liuokseen lisäämällä suurennetaan suuretta $[OH^-]$, niin täytyy murtolausekkeen $\frac{[NH_4^+]}{[NH_3]}$ arvon silloin pienentyä, jotta yhtälö pysyisi voimassa. Tämä ei voi tapahtua toisin kuin siten, että osoittaja $[NH_4^+]$ pienenee, jolloin nimittäjänä oleva $[NH_3]$ vastaavasti suurenee. Jos liuokseen lisätäänkin emäksen sijasta happoa, pienenee $[OH^-]$ vetyioniväkevyyden kasvaessa veden dissosiatioyhtälön

$$[H^+][OH^-] = k_w \qquad (2)$$

mukaan. Murtolausekkeen $\frac{[NH_4^+]}{[NH_3]}$ arvon täytyy silloin suurentua, joka taas voi tapahtua ainoastaan siten, että osa NH_3-molekyyleistä ionisoituu. Hapon s. o. vetyionin lisäys vähentää siis ammoniakin väkevyyttä ja painetta, jotavastoin emäksen lisäys suurentaa niitä.

Jos johonkin suljettavaan astiaan pannaan ammoniakkiliuosta, haihtuu ammoniakkia liuoksesta sen yläpuolella olevaan kaasutilaan. Haihtumista ei tapahdu kuitenkaan rajattomasti, vaan se taukoaa hetkellä, jolloin kaasutilassa olevan ammoniakin paine saavuttaa määrätyn arvon. Jos taas tähän kaasutilaan johdetaan ammoniakkia muualta, tai muuten järjestetään olosuhteet sellaisiksi, että kaasutilassa olevan ammoniakin paine suurenee liuoksessa olevan ammoniakin paineeseen verraten, liukenee osa ammoniakista, koska kaasun paine *Henryn lain* mukaan on suoraan verrannollinen liuoksen väkevyyteen, eli kääntäen: kaasua liukenee veteen sitä enemmän, mitä suurempi sen paine on. *Dalton'in lain* nimellä tunnetun säännön mukaan ammoniakin liukenevaisuus on riippumaton muista läsnä olevista kaasuista. Näiden kahden säännön mukaan voidaan siis määritellä, että ammoniakin haihtuminen tai liukeneminen taukoaa suljetussa astiassa hetkellä, jolloin kaasufaasin ja nestefaasin ammoniakkikonsentratiot saavuttavat määrätyn keskinäisen suhteen. Jos merkitään kaasufaasin konsentratiota = C ja nestefaasin konsentratiota = C_1, pätee tasapainon vallitessa yhtälö

$$\frac{C}{C_1} = K \tag{3}$$

jossa (K) on vakio. Tästä yhtälöstä voi päätellä, että liuoksen ollessa vapaan ilmakehän yhteydessä (konsentratio kaasufaasissa = 0) ammoniakkia haihtuu siksi kunnes liuoksenkin konsentratio lähenee nollaa. EGNÉR (1932, s. 8) on kokeellisesti määrännyt K:n arvon ja saanut suola- ja ($NH_3 + NH_4^+$)-väkevyydeltään virtsaa vastaavaan liuokseen nähden tulokseksi 20°C lämpötilassa keskimäärin 5.68×10^{-4}. Lämpötilan kohotessa tai laskiessa suurenee tai pienenee tämän vakion arvo, jota EGNÉR nimittää haihtuvaisuusluvuksi (flyktighetstal) ja merkitsee kirjaimella (f). Sillä lämpötila-alueella, joka lannan käsittelyssä tulee tavallisimmin kysymykseen, haihtuvaisuusluvun suuruus seuraa lämpötilaa EGNÉR'in mittausten mukaan seuraavalla tavalla:

Lämpötila	Haihtuvaisuusluku
0	2.17×10^{-4}
5	2.84×10^{-4}
10	3.60×10^{-4}
15	4.54×10^{-4}
20	5.70×10^{-4}
25	7.05×10^{-4}
30	9.18×10^{-4}
35	11.28×10^{-4}

Likimääräisesti nämät arvot saadaan yhtälöstä:

$$\log f = a \div \frac{b}{273 + t} \qquad (4)$$

jossa a ja b ovat vakioita, arvoltaan a = 2.574 ja b = 1 707. Yhtälöstä (4) voi päätellä, että haihtuvaisuus kasvaa lämpötilan noustessa lämpötila-alueen yläosassa nopeammin kuin sen alarajoilla. Ja siitä siis seuraa, että lämmön nousu esim. 20→30 asteeseen lisää haihtuvaisuutta enemmän kuin lämpötilan nousu esim. 0→10 asteeseen.

Eläinlannan ja virtsan sisältämän ammoniakin haihtuvaisuutta tutkittaessa tulevat edellisen mukaan seuraavat perustavan luontoiset kysymykset ratkaistaviksi:

1. Mikä on se vetyionikonsentratio (pH-arvo), jossa ammoniumsuolaliuoksen NH_3-väkevyys saa niin alhaisen arvon, että ammoniakin haihtuminen jää tavallisessa lämpötilassa käytännöllisesti katsoen merkityksettömäksi.

2. Millä tavalla lannan tai virtsan ja sillä kostutetun maan reaktio muuttuu ammoniakin haihtuessa.

3. Miten reaktion muuttuminen vaikuttaa haihtumiseen.

4. Mitä käytännöllisiä mahdollisuuksia on olemassa ammoniakin haihtumisen estämiseksi systeemin vetyionikonsentratiota säännöstelemällä.

Tuorila (1929) on osoittanut, että ammoniakalisessa liuoksessa olevan ammoniakin (NH_3) väkevyys liuosta sekä vahvalla hapolla (HCl) että myöskin heikommalla hapolla (sitruunahappo) neutralistettaessa on reaktio-alueella n. pH 5—pH 9 kääntäen suhteellinen vetyionikonsentratioon. Reaktion muuttuessa pH 9—pH 10.5 ammoniakin paine (väkevyys) suurenee edelleen, joskin suhteellisesti hitaammin kuin vetyioniväkevyys pienenee. Emäksisemmässä liuoksessa kuin pH 10.5 NH_3-konsentratio on lähimain riippumaton reaktion muutoksista. Edelleen Tuorila (1929, s. 15) mainitsee, että ammoniakin konsentratio »(und mithin seine Verdunstungsgeschwindigkeit)»[1]) on erilaisissa, mutta keskenään yhtä happamissa (sama pH-luku) liuoksissa lähimain suoraan verrannollinen ammoniumtypen määrään (s. o. 1 tilavuusyksikköä kohden laskettuun summaan $[NH_3] + [NH_4^{\cdot}]$). Näistä Tuorilan osoittamista seikoista ja pH-luvun määritelmästä seuraa, että pH-luvun suureneminen tai pieneneminen (n. pH 9 alapuolella) yhdellä yksiköllä merkitsee ammoniakin höyryn paineen ja sen mukaan haihtuvaisuuden suurenemista tai

[1]) Haihtumisnopeudella tarkoitetaan jonakin määrättynä ajankohtana ilmenevää nopeutta eikä jonkin aika-yksikön kuluessa haihtunutta määrää.

pienenemistä 10-kertaisesti, ja 2 pH-yksikön muutos 100-kertaista muutosta ammoniakin paineessa.

Vähän myöhemmin kuin TUORILA, on kuten edellä jo viitattiin, ruotsalainen EGNÉR tutkinut ammoniakin haihtumis-ilmiön teoriaa sellaisiin liuoksiin nähden, jotka kokoomukseltaan vastaavat lantaa ja virtsaa. Hänen esittämänsä, edellä s. 10 mainittu haihtuvaisuusluku (f) merkitsee suhdelukua, joka kulloinkin vallitsevassa lämpötilassa ilmaisee kaasu- ja nestefaasin NH_3-konsentratioiden keskinäisen suhteen tasapainon vallitessa. Kun koko ammoniakkimäärä ei kuitenkaan ole dissosioitumattomassa muodossa (NH_3) muulloin kuin vahvasti emäksisessä liuoksessa, on tätä haihtuvaisuuslukua hankala sellaisenaan käyttää haihtuvuuden mittana sillä reaktioalueella, joka lannasta puheen ollen tulee lähinnä kysymykseen, koska lannassa on vapaan ammoniakin (NH_3) ohessa myös ammoniumioneja. Sen tähden EGNÉR onkin haihtuvaisuusluvusta (f) johtanut ja määritellyt erikoisen haihtuvaisuustekijän (flyktighetsfaktor), jota hän merkitsee kirjaimella (F). Se tarkoittaa kaasufaasin ammoniakkiväkevyyden suhdetta summaan $[NH_3] + [NH_4^+]$ nestefaasissa. Kun merkitään m = kaasufaasin NH_3-konsentratio ja $M = [NH_3] + [NH_4^+]$ nestefaasissa, on

$$F = \frac{m}{M} \qquad (5)$$

Liuoksen vetyioniväkevyyden kohotessa sen NH_3-konsentratio alenee. Tästä syystä yhtälön (5) oikeanpuolisen jäsenen osoittajan arvo pienenee (Henryn lain perusteella), ja näin ollen haihtuvaisuustekijän arvo on riippuvainen liuoksen vetyionikonsentratiosta. Tämän riippuvaisuuden on EGNÉR ilmaissut yhtälöllä

$$\log \frac{F}{5.68 \times 10^{-4} \div F} = pH \div 9.48 \qquad (6)$$

Yhtälön (6) oikeanpuolisen jäsenen lukutermi (9.48 = pK) on ammoniumionin dissosiatiovakion negativinen logaritmi, ollen tämä ilmaisutapa siis analoginen vetyioniväkevyyden ilmaisutavan kanssa. Yhtälö pätee 20° C lämpötilassa. Muihin lämpötiloihin nähden on edellä s. 10 mainittu lämpötilan vaikutus otettava huomioon. Reaktion muuttuessa happamaan suuntaan haihtuvaisuusfaktorin arvo pienenee, jotavastoin se suurenee pH-luvun kasvaessa. Määrättyä rajaa, nim. haihtuvaisuusluvun (f) arvoa se ei voi ylittää vahvastikaan emäksisessä liuoksessa, jossa F = f. Reaktioluvun laskiessa riittävän alas (pH 8.5 vaiheille) (F) tulee hyvin pieneksi termiin (f) verrattuna.

Reaktio-alueella alle pH 8.5 yhtälön (6) vasemman puolisen jäsenen nimittäjää voidaan sen vuoksi pitää vakiona, jonka arvo EGNÉR'in mittausten mukaan siis on likimäärin 5.68×10^{-4} f, jolloin yhtälö voidaan sievistää muotoon:

$$\log F = \mathrm{pH} \div 9.48 + \log 5.68 \times 10^{-4} = \mathrm{pH} \div 13.48 \qquad (7)$$

Tämä EGNÉR'in yhtälö ilmaisee ammoniakin haihtumisesta aivan samaa kuin edellä mainitut TUORILAN jo muutamaa vuotta aikaisemmin suorittamat tutkimukset. Sillä yhtälöstä selviää, että haihtuvaisuusfaktorin logaritmi pienenee yhdellä yksiköllä pH-luvun alentuessa tämän verran, sekä kahdella yksiköllä pH-luvun pienentyessä kaksi yksikköä jne. Itse haihtuvaisuusfaktori pienenee siis vastaavasti 10-, 100- j.ne-kertaisesti.

II. Katsaus lannan ja virtsan konservoimista koskeviin varhaisempiin tutkimuksiin.

1. *Konservoiminen kemikalioilla.*

Erittyessään ulosteet eivät sisällä mainittavaa ammoniakkimäärää. VIRTANEN (1935, s. 337) on kuitenkin esittänyt, että A.I.V.-ruokinnalla lehmän virtsan typestä voi olla n. 10 % ammoniakkina, jotavastoin heinä-väkirehuruokinnalla korkeintaan 1—2 %. Ei kestä kuitenkaan kauan ennenkuin orgaaniset typpiyhdistykset alkavat ammonisoitua. Hyvin nopeasti tämä tapahtuu virtsan typpeen nähden, joka on alunperin suurimmaksi osaksi virtsa-aineen muodossa, ainoastaan pienin määrin virtsahappona ja hippurihappona. Virtsa-aine hydrolysoituu eräiden kaikkialla esiintyvien bakteerien erittämän entsymin, ureasin vaikutuksesta muodostaen ammoniumkarbonaattia seuraavan reaktioyhtälön mukaan: $CO(NH_2)_2 + 2H_2O = (NH_4)_2CO_3$. Hydrolysi tapahtuu verraten nopeasti. STUTZER ja HONCAMP (1928, s. 17) mainitsevat virtsasta tavatun baktereja, jotka muuttavat virtsa-aineen kaiken typen ammoniakiksi 48 tunnin kuluessa ja virtsahapon typen 10 päivässä. Hippurihappo osoittautui vastustuskykyisemmäksi, sillä suotuisimmissa olosuhteissa sen typestä ammonisoitui 14 päivän kuluessa ainoastaan 33 %. Virtsahapon ja hippurihapon pienen määrän vuoksi niiden merkitys kokonaistypen ammonisoitumis-nopeuteen on kuitenkin vähäinen. Tavallisissa olosuhteissa virtsa-aineenkaan ammonisoituminen ei tapahtune aivan niin pian kuin edellä mainittiin. Seuraava yhdistelmä kuvaa ammonisoitumis-nopeutta WAGNERin (1897, s. 252) mukaan:

	Typestä oli ammoniakkina	
	Pelkkä virtsa	Lannan seassa
alunperin	2.5 %	2.5 %
1 päivässä	5 »	42 »
2 »	59 »	84 »
3 »	82 »	90 »
4 »	90 »	90 »

GERLACHin (1919, s. 77) mukaan lehmän virtsan kokonaistypestä ammonisoitui laboratoriossa

15 päivässä	....	59.92 %
26 »	....	73.62 »
41 »	....	92.82 »

Kun virtsa-aineen hydrolysoituminen tapahtuu bakteerien vaikutuksesta, on ilmeistä, että baktereille sopiva lämpötila lisää myös reaktion nopeutta. Tätä osoittaa m. m. seuraava GERLACHin mukaan laadittu yhdistelmä:

Lämpötila	Lehmän virtsan typestä ammonisoitui 1	2	4	8	16	32 päivässä
0°	5.08	5.07	7.62	5.38	4.78	13.91 %
15—16.5°	4.59	4.41	16.37	59.03	88.33	89.72 »
30°	5.51	18.08	88.70	93.35	94.92	94.50 »

Kun virtsa-aineen hydrolysissä muodostuva ammoniumkarbonaatti on heikon emäksen ja heikon hapon suola, ja kun happokin on helposti haihtuva, ei ammoniumkarbonaatti säily, vaan hajoaa helposti ammoniakiksi, hiilidioksiidiksi ja vedeksi.

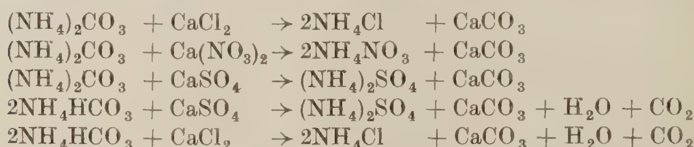
Edellisessä luvussa on selvitetty, että ammoniakin haihtuvaisuus riippuu lähinnä liuoksen reaktiosta, ollen emäksisessä liuoksessa huomattavasti suurempi kuin neutraalissa tai happamassa. Tähän seikkaan nojaten on kirjallisuudessa ehdotettu sekoitettavaksi lantaan lukuisia eri aineita, jotka joko suurentavat vetyionikonsentratiota tai vaikeuttavat antiseptisillä ominaisuuksillaan ammoniakin muodostumista. VALMARI (1921) on suositellut käytettäväksi sinkkisuoloja virtsa-aineen hajaantumisen estämiseksi. Samaan tarkoitukseen on m. m. PERMAN (1937) ehdottanut kuparia. Hän on suunnitellut navetan virtsakouruihin sijoitettavat erikoislaitteetkin, joissa virtsa joutuu automaattisesti hyvin läheiseen kosketukseen kuparin kanssa. GERLACH (1919) on kokeillut m. m. formaliinia, silppuja, turvemultaa, kalisuoloja, superfosfaattia ja kipsiä. Myöskin STUTZER (1919) on kokeillut useilla eri aineilla, m. m. kalium-, natrium-, kalsium- ja magnesiumsulfaatilla ja kloriidilla. Erikoisesti hän on suositellut kalsiumkloriidia, jota tulisi käyttää 6 kg virtsan typpikiloa kohden. STUTZER on huomauttanut, että virtsassa pienehköin määrin esiintyvät kalium- ja natriumkarbonaatit heikentävät kalsiumsuolan vaikutusta, jonka vuoksi sitä olisi käytettävä jonkin verran runsaammin kuin typpipitoisuus välittömästi edellyttäisi.

KRISTENSEN (1919, s. 483) käytti virtsan konservoimiseen rikkihappoa ja superfosfaattia suosittelematta kuitenkaan näitä yleiseen

käyttöön. Sillä vaikka hän totesikin ammoniakin häviöt saatavan m. m. superfosfaatilla vähäisiksi, tarvitaan sitä hyvin suuria määriä, jopa 260 kg 1 000 litraa kohden virtsaa. Tähän nähden on Tovborg-Jensen (1928, s. 129) huomauttanut, että näin suuren superfosfaattimäärän tarve Kristensenin kokeissa johtuu siitä, että kokeet suoritettiin hyvin korkeassa lämpötilassa, (vesihaude) jossa ammoniakin haihtuvaisuus on paljon suurempi kuin käytännössä kysymykseen tulevissa lämpötiloissa. (Vert. myös s. 11 ja 56). Samoinkuin Kristensen ovat myöskin Liechti ja Ritter (1913, s. 429—451) johtuneet siihen tulokseen, että konservoiminen superfosfaatilla vaatii hyvin suuria fosfaattimääriä, joten he mainitsevat koetulostensa yhteenvedossa: »Dass die Neutralisation der Gülle mit Superfosphat rationellerweise nicht durchführbar ist.»

Nolte (1919) on osoittanut, ettei alkalikloriideista ole ammoniakin säilymiseen nähden mitään hyötyä, jotavastoin maa-alkalien kloriidit vaikuttavat konservoivasti. Nolte on erikoisesti korostanut (1919, s. 200) ammoniakin konservoimista »durch natürliche Mittel, wie festes Lagern usw.», koska hapettuminen ja hiilihapon muodostuminen, ja ennen kaikkea kaasujen vaihtuminen lannassa siten estyy. Nolten mukaan kalsiumsuolojen konservoiva vaikutus perustuu lähinnä siihen, että virtsan CO_2-pitoisuus alenee, koska hiilihappo muodostaa kalsiumionin kanssa vaikealiukoisen karbonaatin, ja samalla vahvan hapon anioni sitoo ammoniakin.

Kalsiumsuolojen lisääminen virtsaan voi aiheuttaa eri tutkijain havaintojen mukaan m. m. seuraavat reaktiot:



$$(NH_4)_2CO_3 + CaCl_2 \rightarrow 2NH_4Cl + CaCO_3$$
$$(NH_4)_2CO_3 + Ca(NO_3)_2 \rightarrow 2NH_4NO_3 + CaCO_3$$
$$(NH_4)_2CO_3 + CaSO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4 + CaCO_3$$
$$2NH_4HCO_3 + CaSO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4 + CaCO_3 + H_2O + CO_2$$
$$2NH_4HCO_3 + CaCl_2 \rightarrow 2NH_4Cl + CaCO_3 + H_2O + CO_2$$

Kaikissa näissä reaktioissa syntyy siis vahvasti dissosioituvan ammoniumsuolan ohella vaikealiukoista kalsiumkarbonaattia, joka painuu sakkana kaivon pohjalle. Suhteellisen vaikealiukoinen kipsi reagoi samoin kuin helppoliukoisetkin kalsiumsuolat, sillä kipsiä liukenee veteen paljon enemmän kuin kalsiumkarbonaattia. Ammoniumbikarbonaatin ja kalsiumsuolojen reaktion tuloksena syntyy myös hiilidioksiidia.

Samoinkuin Nolte y. m. on myöskin Tovborg-Jensen (1928, 1929, 1930) ammoniakin haihtumissuhteita koskevissa seikkaperäisissä tutkimuksissaan johtunut erikoisesti korostamaan karbonaatti-ionin poistamista liuoksesta. Eräässä tätä valaisevassa kokeessaan

(1928, s. 130) hän käytti virtsaa, joka sisälsi 3.36 ‰ NH_4^+-N.[1]) Kemikalioiden lisäyksen jälkeen virtsa sai olla rauhassa siksi kunnes sakka laskeutui. Sen jälkeen kutakin virtsanäytettä imeytettiin suodatinpaperiin 5 ccm. Paperien annettiin kuivua, ja sen jälkeen niihin jäänyt NH_4^+-N määrättiin tavalliseen tapaan tislaamalla. Näiden kokeiden tuloksista on eräitä merkitty seuraavaan yhdistelmään:

Lisätty aine ja sen määrä/1,000 litraa virtsaa	Reaktio	Typen häviö %	Litrassa CO_2 g
Ilman konservoimisainetta	vahv. alk.	98.8	12.2
31 kg $CaCl_2$ (kuivattu heti)	6.9	10.1	3.55
26 » » (kuiv. 3 pv. kuluttua)	6.7	4.8	0.56
46 » $Ca(NO_3)_2$	—	9.6	3.69
40 » superf. (kuiv. vuorok. kuluttua)	7.8	90.0	10.40
53 » » » » »	7.6	80.2	9.40
80 » » » » »	7.3	55.7	5.10
106 » » » » »	6.9	26.2	1.99
49 » kipsiä	vahv. alk.	83.5	8.58
20 » Norj. salp. (kuivattu heti)	7.2	60.8	8.19
30 » » » » »	7.0	36.0	4.89
50 » » » » »	6.5	7.7	3.32

Koetulosten johdosta TOVBORG-JENSEN itse on sitä mieltä, että suuren ammoniakin menetyksen aiheuttaa virtsan karbonaattipitoisuus, ja että ammoniakin häviö esiintyy virtsaa kuivattaessa sen karbonaattipitoisuuden funktiona. Konservoimisaineen arvo riippuu sen vuoksi siitä, voiko se poistaa liuoksesta karbonaatti-ionit vaiko ei.[2]) TOVBORG-JENSENin kokeissa ovat sekä $CaCl_2$ että $Ca(NO_3)_2$ huomattavasti vähentäneet ammoniakin haihtumista. Superfosfaatin ja kipsin teho sensijaan on jäänyt suhteellisen pieneksi. Tämä johtunee siitä, että kipsistä on vain vähäinen osa päässyt liuokseen. Kyllästetty kipsiliuos sisältää nim. ainoastaan n. 2.2 ‰ $CaSO_4$. Se määrä kipsiä, joka tarvitaan saostamaan virtsan kaikki karbonaatit, kohoaa sitävastoin yleensä n. 3—6 % virtsan painosta. Suhteellisen vähäisestä liukenevaisuudesta johtuen tarvitaan jonkin verran aikaa, jotta reaktioon kuuluva kipsimäärä ehtii liueta. Tämä ei hevin tapahdu ollen-

[1]) Kun esillä olevassa tutkimuksessa puhutaan ammoniumtypestä (NH_4^+-N) tarkoitetaan summaa NH_4^+-N + NH_3-N. Merkintä ei siis ole aivan täsmällinen. Mutta lannan käsittelyssä kysymykseen tulevalla reaktio-alueella, varsinkin sen happamassa päässä NH_3:n määrä NH_4^+:n määrään verraten on hyvin pieni.

[2]) Koetuloksista voi myös havaita, että vetyionikonsentratio on melko säännöllisesti sitä suurempi mitä alempi karbonaattipitoisuus ja päinvastoin, ja että ammoniakin haihtuvaisuus on myöskin vetyionikonsentration funktio. Näin ollen pätee yhtä hyvin määritelmä: Konservoimisaineen arvo riippuu siitä, kykeneekö se vai eikö kohottamaan vetyionikonsentration riittävän suureksi.

kaan, jos kipsi saa painua heti pohjaan ja sen päälle vielä saostua karbonaattisakkaa y. m. liejumaisia aineita. TOVBORG-JENSEN saikin kipsin ja superfosfaatin tehon [1]) kohoamaan melkein kalsiumkloriidin vaikutuksen tasolle, kun kipsipitoista virtsaa hämmennettiin parin tunnin ajan.

Kalkkisalpietarin vaikutus on analoginen kalsiumkloriidin vaikutuksen kanssa, sillä salpietariakin käytettäessä karbonaatti saostuu, ja ammoniakki yhtyy typpihapon kanssa nitraatiksi. Kloriidiin verrattuna nitraatilla on se etu, ettei tarvitse ostaa ollenkaan kasveille tarpeetonta ainetta. Mutta toisaalta ei nitraattia voida sekoittaa virtsaan ennen kuin juuri ennen levitystä, koska muussa tapauksessa nitraattitypen häviö on hyvin mahdollinen. TOVBORG-JENSEN on laskenut kalkkisalpietaria tarvittavan niin paljon, että salpietarityppeä sekoittuu virtsaan suunnilleen kaksinkertainen ammoniumtypen määrä.

Eräässä NEHRINGin (1939) järjestämässä kokeessa koeastiassa säilytetyn virtsan typen menetys oli 106 päivän kuluessa 27.4 % kun mitään konservoimis-ainetta ei käytetty. Mutta kun virtsaan sekoitettiin sen painosta 2.5—5.0—7.5 % superfosfaattia, aleni typen häviö vastaavasti 20.5—19.5—10.0 prosenttiin. Samoissa kokeissa oli myös jäsen, jossa virtsa peitettiin öljykerroksella. Tällöin typen kato oli ainoastaan 0.9 %. Paremmat tulokset kuin superfosfaatilla yksinään NEHRING sai käyttämällä sen ohessa turvepehkua. Pehku yksinään (16 % virtsan painosta) alensi häviön 19.8 prosenttiin. Pehku ja sen lisäksi 2.5—5.0—7.5 % superfosfaattia vähensi typen kadon vastaavasti 13.6—4.0—6.9 prosenttiin. Säilytetyillä näytteillä kostutettiin mataliin maljoihin pantua hiekkamaata. Maljat saivat olla vuorokauden ajan tuulisessa paikassa. Tämän jälkeen NEHRING totesi eri näytteissä seuraavan suuruiset typen häviöt:

Konservoimis-aineet	Typen häviö %	
Ilman konservointia	41.0	(57.2) [2])
Öljyverho virtsan pinnalla	44.0	(44.5)
2.5 % superfosfaattia	28.2	(42.9)
5.0 » »	17.2	(33.3)

[1]) EGNÉR katsoo superfosfaatinkin vaikutuksen tässä tapauksessa johtuvan pää-asiassa sen sisältämästä kipsistä. Samaa mieltä on myös NEHRING (1939). Hän sanoo tavallisen superfosfaatin vaikuttavan paremmin kuin kaksoissuperfosfaatin nimenomaan siitä syystä että edellinen sisältää kipsiä.

[2]) Ottaen huomioon myöskin säilytyksen aikana syntyneet typen häviöt olen laskenut suluissa olevat %-luvut, jotka siis tarkoittavat alkuperäiseen virtsaan nähden syntyneitä kokonaishäviöitä.

Konservoimis-aineet	Typen häviö %	
7.5 % superfosfaattia	9.5	(18.6)
2.5 » » + 16 % turvepehkua	38.3	(46.7)
5.0 » » + » »	14.8	(29.0)
7.5 » » + » »	6.4	(12.4)
16 » turvepehkua yksinään	58.0	(66.3)

NEHRING suoritti nämät kokeet pieniä koe-eriä käyttäen. GABRIEL (1939) sensijaan on tehnyt vastaavanlaisia kokeita suuremmin mittasuhtein. Virtsakouruun siroiteltiin lehmää ja päivää kohden 250 g superfosfaattia, joka määrä oli 3.1 % eläinten keskimäärin antamasta virtsasta. Säilytyksen aikana (5 kk.) hävisi 30.9 % kokonaistypestä. Vertailuryhmän (ilman sup. fosf.) virtsan typestä hävisi samoissa oloissa 64.4 %. Eräässä toisessa kokeessa GABRIEL käytti myös kahta 3 lehmää käsittävää eläinryhmää. Toisen ryhmän kuivikkeena käytettiin eläintä kohden päivässä 1.25 kg turvepehkua, toisessa ryhmässä sen lisäksi 0.67 kg superfosfaattia pehkuun sekoitettuna. Ilman superfosfaattia tuotetussa virtsapehkussa todettiin 4 kk. kuluttua 43 % suuruinen typen kato; superfosfaatilla sekoitetussa häviö oli 24 %.

ÅSLANDER (1938 ja 1940) on esittänyt hyvin positiivisia tuloksia kokeista, joissa lantaan sekoitettiin erilaisia fosfaatteja, m. m. superfosfaattia. Hän selittää hyvien satotulosten johtuvan etupäässä siitä, että suuren orgaanisen ainemäärän sekoittaminen fosfaattilannoitteeseen edistää fosfaatin hyväksikäyttöä nimenomaan happamassa maassa, jossa fosforihappo muodostaa helposti raudan ja aluminiumin kanssa erittäin vaikealiukoisia yhdistyksiä.

Suomessa suoritetuista lannan säilytystä superfosfaatin avulla koskevista kokeista ovat HONKAVAARAN Etelä-Pohjanmaan koeasemalla suorittamat kokeet mainittavimmat. Näihin kokeisiin viitataan uudelleen toisessa yhteydessä s. 24.

VALMARI ja SALONEN (1940) suosittelevat oppikirjassaan superfosfaatin lisäämistä virtsakaivoon 2.5—4 kg suuruisin viikkoannoksin nautaa kohden. Tällöin ei heidän käsityksensä mukaan ole pelkoa ammoniakin haihtumisesta. He eivät mainitse kuitenkaan koetuloksia, joihin tämä ohje perustuu.

Lannan ja virtsan säilömiseen kemikalioiden avulla on monella taholla suhtauduttu arvostellen. Väkevien happojen käyttöön nähden voitaneenkin täydellä syyllä huomauttaa, että niiden käyttö on erittäin hankalaa. Suurin määrin jatkuvasti käytettävä väkevä rikkihappo ei sitäpaitsi ole suinkaan vaaratontakaan karjanhoitoväen käsissä. Jossain määrin syövyttävä vaikutus on useilla suo-

loillakin ajanmittaan, m. m. superfosfaatilla, jos niitä käytetään navetassa. Kemikalioiden käyttö tulee myöskin huomattavan kalliiksi, mikä on sitäkin vaikuttavampi tekijä kun ne on aina ostettava. Monilla kemikalioilla on myös haitallisia sivuvaikutuksia kasvullisuudelle, jotavastoin niillä ei ole mitään sellaisia sivuvaikutuksia, jotka voisivat olla edullisia eläinten hyvinvointiin ja karjan hoitajien viihtyisyyteen nähden. Superfosfaatista on erikoisesti huomautettu, että sen fosforihapon liukenevaisuus alenee täten käytettynä huomattavasti. On kuitenkin otettava lukuun, että superfosfaatin fosforihappo maahan joutuessaan joka tapauksessa muuttuu entistä vaikeammin liukenevaan muotoon. Mutta toisaalta ovat lukuisat kokeet osoittaneet, että monokalsiumfosfaatin vaikutus on parempi kuin vaikeammin liukenevien fosfaattien. Tähän mennessä suoritetut suhteellisen harvat kokeet eivät riitä antamaan sen paremmin kokonaan kielteistä kuin myönteistäkään vastausta kysymykseen superfosfaatin käytöstä konservoimisaineeksi.

Myöskään helppoliukoisten kalsiumsuolojen soveltuvaisuutta yleiseen käytäntöön ei ole kokeiltu siinä määrin, että niihin nähden voitaisiin antaa myönteinen vastaus. Tovborg-Jensen y. m. suorittamat laboratoriotutkimukset ovat kyllä osoittaneet kalsiumsuolamenetelmän teoreettisesti katsoen varsin riittävästi perustelluksi. Mutta kenttäkokeet eivät olekaan antaneet yhtä vakuuttavia tuloksia. Niinpä Tovborg-Jensenin kenttäkokeissa (1930, s. 176), joissa konservoiminen tosin on antanut selvän sadon lisäyksen, voidaan saavutusta kuitenkin pitää varsinkin nurmen pintalannoitukseen nähden jotenkin vähäpätöisenä. Egnér (s. 24) on selittänyt tuloksen erilaisuuden laboratorio- ja kenttäkokeissa johtuvan siitä, että edellisissä karbonaattisakka on eroittunut liuoksesta, jotavastoin sakka on kenttäkokeissa (sikäli kuin asia alkuperäisestä koeselostuksesta selviää) jäänyt virtsan joukkoon. Egnérin selityksen mukaan virtsan ohessa levitettävä karbonaattisakka, joka sekin on jossain määrin liukenevaa, »puskuroi» vetyionikonsentration nousua vastaan. Tästä syystä haihtuvaisuusfaktori pysyy korkeana ja ammoniakin häviö nimenomaan pintalannoituksessa sen vuoksi suurena, konservoimisaineen käytöstä huolimatta. Egnér korostaa pohjasakan eroittamisen tärkeyttä ennen virtsan levitystä erikoisesti siinä tapauksessa, että konservoimiseen käytetään kipsiä tai superfosfaattia (s. 25).

Niin suurien fosfaattimäärien lisääminen virtsakaivoon kuin lähimain kaiken ammoniakin sitominen edellyttää, muodostaa lopulta niin suuren liejumäärän, että sen eroittaminen on välttämätöntä virtsan levityslaitteiden kunnollisen työskentelyn kannaltakin. Sillä suuri liejumäärä tukkii helposti levityslaitteen putket. Kysymys jäljelle

jäävän fosfaattirikkaan pohjasakan edullisesta käytöstä vaatii sitäpaitsi oman selvityksensä.

Kemikalioiden käyttöä virtsan konservoimisaineeksi vaikeuttaa erikoisesti vielä se, että taloudellisesti edullisimman suolamäärän arvioiminen kutakin erikoistapausta varten on käytännössä melko vaikeata. Annoksen suuruus riippuu nimittäin oleellisesti virtsan sekä typpi- että karbonaatti-väkevyydestä. M. m. edellä viitatuista Tovborg-Jensenin kokeista ilmenee, että liian pienet annokset vaikuttavat suhteellisen heikosti. Tarpeettoman suuri suola-annos ei tiettävästi myöskään ole taloudellisesti edullinen. Egnér (s. 22) on osoittanut, että konservoimisainetta on käytettävä juuri niin paljon, että se vastaa virtsan emäs-ylijäämää, tai että tämä tulee vähän ylitetyksi, jolloin vasta happamuus lisääntyy jyrkästi, ja haihtuvaisuusfaktori sen mukaisesti pienenee myös nopeasti. Tovborg-Jensen on (1929, s. 70) konstruoinut analysilaitteet, joilla virtsan N- ja CO_2-pitoisuus voidaan määrätä tarkoitukseen riittävällä tarkkuudella varsin nopeasti ja huokealla. Menetelmä ei ole kuitenkaan levinnyt yleiseen käyttöön.

2. *Konservoiminen kuivikkeilla.*

Erilaisia kuivikkeita on vanhastaan käytetty lannan säilömisaineina. Niiden käytön alkuperäisenä tarkoituksena ei ole kuitenkaan ollut niin suuressa määrin kasvinravintoaineiden tallettaminen kuin lantamassan suurentaminen ja kotieläinsuojan kuivana ja muutenkin siedettävän siistinä pitäminen. Talleissa ei varhaisempina aikoina yleensä käytetty kuivikkeita ensinkään; siihen ei ollut mitään pakkoa, koska hevosen lanta ei ole erikoisen tahraavaa, ja virtsa valuu helposti lattian alle. Permannottomissa talleissa samoinkuin navetoissa, sikaläteissä ja eläinten kesätarhoissa on hyvin suurienkin kuivikemäärien (etupäässä havuja) käyttö ollut sääntönä jo varhaisista ajoista saakka, siis jo paljon aikaisemmin kuin virtsan kasvinravintoarvoon tiedettiin kiinnittää mitään huomiota. Nykyaikaiseen valoon kuivikekysymys joutui vasta viime vuosisadan jälkipuoliskolla sen jälkeen kun virtsan kalin ja varsinkin typen merkitys kasvinravintoaineena opittiin tuntemaan. Kuivikkeiden käytön päätarkoituksena on kuitenkin edelleenkin eläinsuojien pitäminen mahdollisimman siisteinä. Mutta hyvin tärkeäksi sivutarkoitukseksi on vähitellen opittu käsittämään myös niiden kyky vähentää kasvinravintoaineiden hukkaan menoa.

Kuivikkeiden käytön päätarkoituksesta johtuu, että hyvän tavaran tunnuksena on ennen muuta mahdollisimman suuri veden pidätyskyky. Tässä suhteessa meillä käytetyt kuivikkeet ovat hyvin eri arvoisia. Ammattikirjallisuudessa tapaa samankin aineen vedenpidätys-kyvystä suuresti toisistaan poikkeavia arvoja. Niinpä RINDELLin (1928) mukaan esim. sahajauhot imevät vettä 3—5 kertaa painonsa, oljet 3—5.5 ja turvepehku jopa 10—18 kertaa oman painonsa vettä. Näin suuria vesimääriä ei sentään voida käytännössä kuivikkeisiin imeyttää, sillä jo heikonkin puristuksen alaisena näin märästä lannasta valuu suuri osa nesteestä pois. Niinpä voidaan hyvänkin turvepehkun katsoa tulleen käytännöllisesti katsoen täydelleen kyllästetyksi silloin kun sen vesipitoisuus kohoaa n. 80—85 prosenttiin. VALMARI ja SALONEN (1940, s. 139) esittävätkin huomattavasti alempia arvoja kuin RINDELL. Heidän mukaansa olkien imemiskyky vaihtelee silppujen pituudesta riippuen 1.8—2.8 ja turvepehkun 4.5—7.0 kertaa oma painonsa. Lukuja vertaillessa tuntuu kuitenkin ilmeiseltä, että RINDELL tarkoittaa kuiva-aineen, mutta VALMARI ja SALONEN tavallisen ilmakuivan massan imemiskykyä.

Turvepehkua on jo vanhastaan pidetty parhaimpana kuivikkeena nimenomaan sen suuren vedenimemiskyvyn vuoksi. Mutta viime vuosisadan vaihteesta lähtien turvepehkun toinenkin tärkeä ominaisuus, sen kyky pidättää melkoisia määriä ammoniakkia, on tullut sekä tutkijoiden että maanviljelijöiden yhä lisääntyneen huomion kohteeksi. Sen käytön tehostamista on varsinkin kansantajuisessa kirjallisuudessa sekä neuvontatoiminnassa hyvin paljon mainostettu sekä maanviljelijäin välittömään kokemukseen että eri tahoilla saatuihin koetuloksiin vedoten.

Turvepehkun etevämmyys typen tallettajana tuntuu jo navetassa. Kuivikkeen merkitystä kotieläinsuojan ilman ammoniakkipitoisuuteen on kuitenkin tutkittu ainoastaan vähän. TUORILA (1929, s. 8) mainitsee erään kokeen, jonka ARNOLD suoritti jo n. 60 v. sitten. Tämän kokeen mukaan tallin ilma sisälsi turvepehkua ja olkia kuivikkeena käytettäessä ammoniakkia seuraavin suhtein:

	Kuivikkeena Olkia	Pehkua
1. päivänä	0.0012	0
2. »	0.0028	0
3. »	0.0045	0
4. »	0.0081	0
5. »	0.0153	jälkiä
6. »	0.0168	0.0010
15. »	—	0.0170

Olkia käytettäessä ilma sisälsi siis jo ensimäisenä päivänä yhtä paljon ammoniakkia kuin pehkua käytettäessä 6:ntena päivänä, jolloin taas olkikuivikkeisen tallin ilmassa oli yhtä paljon ammoniakkia kuin pehkua käytettäessä 2 viikon kuluttua.

Suomessa ovat NORDBERG ja SUHONEN (1939) tutkineet ilman NH_3- ja CO_2-pitoisuutta erilaisissa navetoissa. Vaikka heidän tutkimusselostuksessaan ei mainitakaan mitään käytettyjen kuivikkeiden laadusta, on nämät tutkimukset syytä mainita tässä yhteydessä sen vuoksi, että ne osoittavat mitä suuruusluokkaa navetta-ilman NH_3-pitoisuus on. Eräässä tapauksessa NH_3-pitoisuus kohosi 10 mg/m³, ollen yleisesti 4—6 mg/m³. Nämät tapaukset eivät liene kuitenkaan mitään korkeimpia ääriarvoja siitä päätellen, että navetat olivat »malliluokkaa».

Että lannasta ja virtsasta jo navetassa haihtuu varsin suuria ammoniakkimääriä, ja että kuivikkeiden laadulla on tässä suhteessa suuri merkitys, ilmenee m. m. von FEILITZENin (1911) suorittamista kokeista. Erään hänen kokeensa (s. 13) mukaan typen kadon vaihtelu navetassa oli kuivikkeista johtuen seuraava:

Kuivike	Typen häviö %
Turvepehku	7.1
Oljet	19.8
Sahajauhot	11.1

Lannan säilytyksen aikana (3½ kk.) eri kuivikkeilla talteen otetuissa lannoissa todettiin edelleen seuraavat typen häviöt:

Kuivike	Kokonais-N %	NH_4-N-%
Turvepehku	7.4	4.7
Oljet	20.0	51.3
Sahajauho	7.5	26.6

von FEILITZEN laski helppoliukoisen typen häviön lehmää ja vuotta kohden olkikuivikkeilla 19½ kg ja sahajauhokuivikkeilla 12½ kg suuremmaksi kuin turvepehkulla. Kenttäkokeissaan von FEILITZEN (1914, s. 278) sai eri lannoilla v. 1909 toimitetulla lannoituksella 5 vuoden kuluessa seuraavat sadon lisäykset kuiva-ainekiloina:

	1909	1910	1911	1912	1913	Summa
Turvelanta	2 026.9	691.6	141.2	268.9	—11.1	3 128.6 [1]
Olkilanta	868.4	715.4	193.1	306.7	132.4	2 216.0
Sahajauholanta	338.4	605.7	184.5	253.6	154.6	1 536.8

[1]) Vuoden 1913 tuloksen turvelannan osalta VON FEILITZEN jätti huomioon ottamatta.

HONKAVAARAn (1936) suorittamien kokeiden mukaan typen häviöt olivat erilaisia kuivikkeita käytettäessä 2½ kk. kestäneen lannan säilytyksen aikana:

Konservoimisaine eläinten 100 elopainokiloa kohden	Typen häviöt % Kokonais-N	NH_4^+-N
1 kg turvepehkua (pH 3.6)	13.1	26.1
0.44 kg turvepehkua + 0.56 kg silppuja	15.8	42.0
0.25 » superfosf. + 1.25 kg silppuja	14.7	68.0
1.25 » silppuja	28.4	82.0

Tuloksiin nähden on erikoista m. m. siinä suhteessa, että NH_4 -typen häviö oli olki-superfosfaattilannassa huomattavan suuri. Kun kokonaistypen häviö kuitenkin oli varsin kohtuullinen, selittää HONKAVAARA ammoniakin suuren häviön johtuvan siitä, että osa ammoniumtypestä on biologisesti sitoutunut valkuaistypeksi. Tämä onkin hyvin todennäköistä, mutta mahdollista on myös, että osa ammoniakista on muuttunut aminotypen muotoon.

Turvepehkun kyvystä sitoa ammoniakkia pysyväisesti esitetään tieteellisessä kirjallisuudessa suuresti toisistaan poikkeavia käsityksiä. Tutkijain kesken yleisimmin vallitsevan käsityksen mukaan ammoniakin sitoutuminen turpeeseen on luonteeltaan etupäässä kemiallista sitoutumista, joka johtuu ammoniakin yhtymisestä turpeen sisältämiin happamiin aineisiin, etupäässä humushappoihin. Fysikalisen adsorption merkitys sen sijaan otaksutaan tässä suhteessa toisarvoiseksi. MINSSEN [1]) on suorittanut vertailuja eri kuivikkeiden kyvystä sitoa ammoniakkia. Hän havaitsi *Sphagnum*-turpeen sitovan ammoniakkia 1.96 %, *Carex*-turpeen 0.93 % ja olkien 0.42 % kuiva-aineensa painosta. Koetulostensa johdosta MINSSEN mainitsee m. m., että vähän lahonnut turve on tavattoman suuren nesteiden imemis- ja ammoniakin sitomiskykynsä vuoksi erikoisen sopivaa eläinten ulosteiden konservoimiseen, ja että rahkaturpeen ammoniakin sitomiskyky perustuu sen sisältämiin vapaisiin humushappoihin.

ZEILER ja WILK ovat saaneet eräiden turpeiden ammoniakin sitomiskyvyksi:

Hajaantumattoman rahkaturpeen	1.83	%	kuiva-aineesta
Vähän hajaantuneen »	2.64	»	»
Vahvemmin hajaant. »	2.02	»	»
Kangasturpeen	2.30	»	»

Myöskin MACHin mukaan turve pidättää paljon enemmän ammoniakkia kuin muut kuivikkeet:

[1]) MINSSENin samoinkuin myöhemmin mainitut ZEILER ja WILKin sekä MACHin tulokset on esitetty tässä TUORILAn (1929, s. 9) mukaan.

Kuivikelaji	Sitoutunut NH_4^+-N g
Turvemulta	2.003
Turvepehku	2.019
Oljet	0.162
Lehdet	0.584
Sahajauhot	0.399

TUORILA (1929) on seikkaperäisillä tutkimuksillaan osoittanut, että eri alkuperää olevien turpeiden kuivike-arvo vaihtelee hyvin paljon, s. o. ammoniakin pidätyskyky on hyvin eri suuruinen. Se on suhteellinen turpeen happamien ainesten määrään eli happoisuuteen. Ammoniakin sitomiskyky voidaan TUORILAn mukaan likimääräisesti laskea kertomalla turpeen kalkkitila-luku (Kalkzustandzahl. vert. 1928, s. 25 ja 1929, s. 33) kertoimella 0.34. Täten saadut ekvivalenttiset ammoniakkimäärät neutralisoivat turpeen pH 6.5—6.8 vaiheille. Mutta kun humushappojen ammoniumsuolat ovat päinvastoin kuin niiden kalsiumsuolat, veteen liukenevia, on mainitun kertoimen avulla laskettuja ammoniakkimääriä kuitenkin jonkin verran pienennettävä, jotta reaktioluku todellakin painuisi riittävän alas, eli pH 6.5 vaiheille. Tätä emäksisemmästä pehkusta ammoniakki haihtuu TUORILAn mukaan nopeasti, mutta happamammasta (pH alle 6.5) pehkusta niin hitaasti, ettei sillä ole käytännöllistä merkitystä. Käsiteltyään lukuisia eri alkuperää olevia turvenäytteitä ammoniakkiliuoksella TUORILA määräsi ammoniakin pidätyskyvyn haihduttamalla erikoislaitteissa (1929, s. 17) kaiken sen ammoniakin, mikä näytteistä ylipäänsä saattoi haihtua ja vähentämällä haihtuneen määrän näytteisiin alunperin imeytetyistä määristä. Kun näytteet olivat kuivuneet 9.1 % vesipitoisuuteen, eli erittäin ilmakuiviksi, oli niissä turpeen kuiva-ainekiloa kohden jäljellä seuraavasta yhdistelmästä ilmenevät määrät ammoniakkia. [1])

Turvelaji	Näytteitä	Sitoutunut ammoniakkimäärä Pienin g		Suurin g		Keskim. g	
Sphagnum fuscum-turve	10	11.8	(9.7)[1])	18.5	(15.2)[1])	16.03	(13.20)[1])
Sph.-turve (paitsi *Sph. fuscum*)	10	6.3	(5.2)	10.3	(8.5)	8.59	(7.07)
Sararahkaturve	6	7.2	(5.9)	9.2	(7.6)	8.40	(6.92)
Rahkasaraturve	10	4.0	(3.3)	6.4	(5.3)	5.10	(4.20)
Saraturve	12	1.5	(1.2)	6.2	(5.1)	3.70	(3.05)
Ruskosammalsaraturve	8	1.4	(1.2)	3.6	(3.0)	2.55	(2.10)

[1]) Kun olen omissa tutkimuksissani ilmaissut haihtumishäviöt typpenä, olen vertailun helpottamiseksi muuntanut myöskin nämät TUORILAn esittämät ammoniakkimäärät typeksi ja merkinnyt täten saadut luvut sulkuihin.

Oppikirjassaan ovat VALMARI ja SALONEN (1940, s. 240) esittäneet TUORILAn NH_3-määrät amm. typpenä.

Näistä Tuorilan koetuloksista ilmenee, että eri alkuperää olevien turpeiden ammoniakin sitomiskyky on hyvin erilainen, ja myöskin se, että tämä ominaisuus vaihtelee samaakin alkuperää olevissa turpeissa melko paljon. Eri turpeiden kyvyn pidättää ammoniakkia voi Tuorilan koetulosten mukaan jossain määrin arvioida myöskin niiden pH-luvun perusteella. Ammoniakin sitomiskyky on nimittäin yleensä sitä suurempi mitä korkeampi vetyionikonsentratio. Mutta kun tämä ja kokonaishappamuus, josta sitomiskyky lähinnä riippuu, eivät ole aina suoraan suhteellisia, ei pH-lukuun perustuva arviokaan ole varma.

Eläinlannan säilytyksen suhteen Tuorila jatkaa koeselostuksessaan, että 1 kg hyvin hapanta kuivaa *Sph. fuscum*-turvetta riittää täydellisesti sitomaan koko sen ammoniakkimäärän, joka erittyy lehmän virtsasta 100 elopainokiloa kohden päivässä, mutta vähemmän hapanta turvetta tarvitaan 2—3 kertaa enemmän. [1]) Huolellisesti eläinlantaa hoidettaessa riittää (edelleen Tuorilan mukaan) noin 0.5 kg hapanta turvetta konservoimaan lehmän virtsan päivää ja 100 kg elopainoa kohden. Tällöin turvepehkuun hyvin sekaantunut virtsa on päivittäin poljettava tiiviisti lantapatteriin. Näin pienennetyn määrän riittävyyttä Tuorila (1929, s. 42) perustelee siten, että virtsan typestä on toisena päivänä vasta vaille puolet ammoniakin muodossa, joten uusi lantakerros ehtii tulla peittämään edellisen ennenkuin koko virtsa-ainemäärä on ehtinyt hajaantua. Vaikka tämä selitys tuntuukin hyvin vakuuttavalta sikäli kuin on kysymys ammoniakin sitoutumisesta lannan säilytyksen ajaksi, ei Tuorila kiinnitä kuitenkaan samassa yhteydessä [2]) lähempää huomiota siihen, miten ammoniakin käy myöhemmin pellolla lannan levityksen ja multauksen välisenä aikana. Oletaa voidaan myös, että lantapatterissa syntyy säilytyksen aikana orgaanisia happoja, jotka sitovat ylimääräisen ammoniakin. Todellisuudessa niitä jossain määrin syntyykin (vert. Heinrich-Nolte, 1918, s. 19), mutta ei ole osoitettu, syntyykö niitä kaikissa olosuhteissa niin paljon, että niillä olisi riittävän suuri käytännöllinen merkitys ammoniakin sitoutumiseen nähden.

[1]) Egnér (s. 27) näyttää erehtyneen Tuorilan tarkoituksen suhteen. Tuorilan tutkimuksen tähän kohtaan viitatessaan hän näyttää käsittäneen niin, että 1 kg turvetta riittäisi lehmää ja päivää kohden. Tuorilan esityksestä voi kuitenkin ilman muuta päätellä, että esim. 400 kg painoista lehmää kohden olisi päivässä käytettävä 4 kg pehkun kuiva-ainetta, jonka mukaan tavallista ilmakuivaa pehkua tarvittaisiin 5—6 kg, joka on siis aivan toista suuruusluokkaa kuin tanskalaisissa kokeissa käytetyt määrät, joihin Egnér viittaa.

[2]) Useissa myöhemmissä esityksissään (m. m. 1934, 1935 ja 1941) Tuorila on erikoisesti korostanut viipymättömän multauksen välttämättömyyttä, vaikka turvepehkua olisikin käytetty, ellei happamien aineiden (pehku tai muta) käyttö ole riittävän suuri neutralisoidakseen kaiken ammoniakin, jolloin riittävänä voidaan pitää turvemäärää, joka alentaa lannan reaktioluvun pH 6.5 vaiheille.

EGNÉR suhtautuu turpeen ammoniakin sitomiskykyyn nähden vahvasti epäillen. Kielteistä kantaansa hän perustelee (s. 26) mainiten m.m., että humushappojen ammoniumsuolat ovat helppoliukoisia, joten humushappo- ja ammoniumionit eivät poistu liuoksesta kuten kalsiumionien suhteen tapahtuu turvetta kalkkivedellä neutralistettaessa. Humushapot ovat heikkoja happoja, joiden keskivalenssi [1]) on samoinkuin hiilihapon ja ammoniakin suuresti riippuvainen sen liuoksen reaktiosta, jonka kanssa ovat tasapainossa. Vahvasti happamassa liuoksessa humushappojen keskivalenssi on hyvin alhainen, kohoten sitä mukaa kuin liuoksen vetyionikonsentratio pienenee. Humushappojen happo-ominaisuudet ilmenevät siis selvinä vasta emäksisessä liuoksessa, jossa ammoniakin haihtuvaisuusfaktorin arvo on suuri. Sen vuoksi se määrä turvetta etc., joka tarvitaan antamaan tietyn määrän tehoisia happoekvivalentteja sitomaan tietyn määrän ammoniakkia, on suhteellisesti sitä suurempi mitä alempi reaktio liuokselta vaaditaan. Sen vuoksi ei EGNÉRin mukaan voida sanoa, että tietty määrä turvetta kykenisi sitomaan tietyn ammoniakkimäärän. Sillä vaikkakin ammoniakin haihtuminen ammoniakalisesta liuoksesta vahvalla hapolla neutralistettaessa vähenee määrättyä pH-astetta lähestyttäessä nopeasti (vrt. esim. TOVBORG-JENSEN, 1930, s. 165), ei heikolla hapolla neutralistettaessa esiinny tällaista jyrkkää rajaa, vaan liuos on »puskuroitu» reaktion ja haihtuvaisuusfaktorin muutoksia vastaan. Sen vuoksi ammoniakin haihtuminenkin hidastuu ainoastaan vähitellen sitä mukaa kun tullaan huomattavan pitkälle happaman reaktion alueelle.

EGNÉRin käsityksen valossa on kuitenkin vaikeata ymmärtää, että m. m. TUORILAn kokeissa varsin suuret ammoniakkimäärät ovat joka tapauksessa pidättyneet turpeeseen, vieläpä sangen lujasti. EGNÉR (s. 27) selittää tämän johtuvan yksinomaan siitä, että ammoniakkiliuos tulee laboratoriokokeissa hyvin hienoksi jauhetun turpeen kanssa perusteellisesti sekoitetuksi, joten ammoniakki imeytyy turpeeseen tavallista lujemmin. Käytännössä sitävastoin ei ole mahdollista hienontaa turvepehkua niin perusteellisesti kuin laboratoriossa. Vaikkei tältä EGNÉRin selitykseltä voitanekaan kokonaan kieltää oikeutusta, ei se tunnu kuitenkaan joka suhteessa vakuuttavalta. Sillä vaikka turvepehku onkin käytännössä karkeata, ei näytä uskottavalta, etteikö se tulisi tunkiossakin perusteellisesti sekaantuneeksi ammoniakin kanssa. Sekaantuminen tapahtuu tosin huomattavalta osaltaan diffusion vaikutuksesta, mutta tämän hitaan ilmiön tapahtumiseen on lannan säilytyksen kuluessa runsaasti aikaa, joten diffusiokin ehtii tasoittaa konsentration erot.

[1]) Keskivalenssilla (medelvalens) tarkoitetaan ioniväkevyyden suhdetta vastaavaan kokonaisväkevyyteen.

EGNÉR (s. 33) on kiinnittänyt erikoista huomiota siihen tunnettuun ilmiöön, että hataralla kannella varustetussa kaivossa olevan virtsan samoinkuin patterissa olevan lannan pintakerroksissa ammoniakkipitoisuus on alempi, usein hyvin paljonkin alempi kuin syvemmissä kerroksissa. Hän nimittää tätä ilmiötä kerrosmuodostumaksi (skiktbildning) ja kirjoittaa: »Det synes vara sannolikt att denna skiktbildning är för närvarande mest verksamma skyddet mot kväveförluster genom ammoniakavdunstning under den fasta stallgödselns lagring.» Tämä onkin sopusoinnussa sen yleisesti hyväksytyn käsityksen kanssa, että lantapatteri on tehtävä mahdollisimman korkeaksi, jotta ammoniakkiköyhä pintakerros muodostaisi mahdollisimman pienen osan koko lantamäärästä. Samaan päämäärään ja vieläkin tehokkaammalla tavalla tähtää patterin peittäminen kyllin paksulla mutakerroksella.

Kuivikkeiden käyttöön liittyy eräs erikoinen säilömismuoto, nim. hiilihapon käyttäminen konservoimisaineena, jota keinoa myös on ehdotettu. STUTZER ja HONCAMP (1928, s. 65) esittävät m. m. SCHNEIDEWINDin havaintoihin perustuvan menetelmän, jonka mukaan konservoiva hiilihappo synnytetään itse lannasta: Lantalaa tyhjennettäessä otetaan patterin keskustasta talteen osa täydessä käymistilassa olevaa lantaa, joka pannaan syrjään ja peitetään mullalla. Ennenkuin uutta lantaa tuodaan lantalaan levitetään tuota vanhempaa ohuehko kerros tuoreen lannan alle. Jo ennestään käymistilassa olevasta lannasta kehittyy hiilihappoa paljon runsaammin kuin aivan tuoreesta. Hiilihappo karkoittaa ilman hapen pois lannan joukosta, joten nitriittien ja nitraattien syntyminen vaikeutuu, ja jolloin ei siis myöskään voi tapahtua denitrifikatiota. Tähän selitykseen nähden voidaan kuitenkin huomauttaa, että lantapatterin sisuksissa vallitsee tavallisesti niin suuri NH_3-väkevyys, että jo se tekee nitrifikatiobakterien lisääntymisen mahdottomaksi. Ja niin ollen ei denitrifikatio voi senkään vuoksi tulla kysymykseen. Hiilihapon konservoiva vaikutus ei silti ole kiellettävissä. Mutta se tapahtuu sitä tietä, että korkea hiilihapon paine lisää myös vetyionikonsentratiota, jolloin haihtuvaisuusfaktorin arvo jää alhaisemmaksi kuin ilman hiilidioksiidin läsnäoloa. Mutta tämä hiilihapon konservoiva vaikutus on joka tapauksessa ohimenevä, sillä kun patteri hajoitetaan, ei hiilihappo pysy lannassa, vaan haihtuu hyvin nopeasti ilmaan. Samalla vetyionikonsentratio alenee nopeasti ja haihtuvaisuusfaktorin arvo suurenee sen mukaan. (Vert. myöh. s. 73 ja EGNÉR, s. 17.)

III. Varhaisemmin suoritetuista ammoniakin haihtumisen välittömistä mittauksista.

Tuorila (1929, s. 11) on esittänyt *Henryn lakiin* nojautuvan ammoniakin haihtumisnopeutta yleisesti ilmaisevan differentialiyhtälön:

$$\frac{dM'}{dt} = f\ (C_1 - K \cdot C) \qquad (8)$$

jonka mukaan aikayksikössä (dt) nesteeseen liuennut tai siitä haihtunut kaasumäärä (dM') on neste- ja kaasufaasien konsentratioiden erotuksen funktio. Tämä yhtälö pätee ilmeisesti kaikissa olosuhteissa sikäli kuin on kysymyksessä nimenomaan haihtumisnopeus jonakin määrättynä ajankohtana ja nopeuden riippuvaisuus haihtumispinnan ja sitä sivuavan kaasufaasin konsentratioiden erosta. Tällöin on huomattava, että yhtälö pätee nimenomaan siihen systeemiin nähden, josta haihtuminen tapahtuu, siis esim. kiinteästä lannasta puheen ollen sen uloimpaan pintakerrokseen nähden. Ilmeistä on, että se myös pätee sellaiseen systeemiin nähden kokonaisuudessaan, jossa tuuletus-ilma pulputetaan liuoksen lävitse sellaisella nopeudella, että neste- ja kaasufaasien konsentratiot ehtivät saavuttaa Henryn lain mukaisen tasapainon. Käytännössä ei näin yksinkertaista tapausta lannan käsittelyssä kuitenkaan esiinny. Päinvastoin käytännössä on tavallisesti kysymyksessä monimutkaisesti heterogeninen systeemi, jonka muodostavat ilma ja maan pintakerrokseen imeytynyt virtsa tai maan pinnalle levitetty lanta. Tällaisessa systeemissä esiintyy myöskin muita haihtumisnopeuteen vaikuttavia tekijöitä kuin konsentratioiden erot. Kysymykseen tulee m. m. ammoniakin diffundoituminen syvemmistä kerroksista varsinaiseen haihtumispintaan. Tämä diffusio tapahtuu hitaasti. Sen vaikutusta haihtumisnopeuteen ei ole kuitenkaan selvitetty.

Suoranaisia ammoniakin haihtumisnopeuden mittauksia lannasta ja virtsasta on tehty suhteellisesti vähän. Ensimäiset lienevät Liechti

ja RITTERin (1910 ja 1913) suorittamat [1]). He eivät tosin määränneet haihtumisen kulkua, vaan ainoastaan määrätyn ajan (yleensä 7 t.) kuluessa tapahtuneen kokonaishaihtumisen. He sommittelivat erikoislaitteet, joilla pienelle koe-alalle (12 dm^2) levitetystä lantavellistä [2]) erilaisissa olosuhteissa haihtuneet ammoniakkimäärät voitiin koota ja kvantitativisesti mitata. Seuraavasta yhdistelmästä selviävät tulokset parista LIECHTI ja RITTERin koesarjasta. Sarjassa (II) lantavelli oli konservoitu superfosfaattimäärällä, joka sisälsi 80 kg veteen liukenevaa P_2O_5 hehtaarille. Kahdessa alimmassa tapauksessa superfosfaattia oli käytetty kaksinkertainen määrä.

Lanta-velliä hl/ha	Kokon. typpeä kg/ha	Tuuletus-aika t.	Ilman lämpötila tuuletuksen aikana C°			Ammoniakin häviö kg/ha	
						Sarja I	Sarja II
318	80	7	22	25	24	12	11
»	»	7 [3])	22 ½	24 ½	24 ½	12	16
»	»	2 ¼	21 ½	—	—	7	7
»	»	7 [4])	20 ½	23	21 ½	6	8
»	»	7	18 ½	22 ½	21 ½	9	9
400	40	7	17 ½	18	15	2.3	3.4
»	»	7 [5])	15	18 ½	15 ½	3.5	5.3
800	211	7	22	25	24	16	20
»	»	7	25	26	26	18	17
»	»	7	11	14	14	11	14
»	»	7	8	12	9	4	7
»	»	7	8	8	7	10	10
»	»	7	12	16 ½	11	10	11

Koeselostuksensa yhteenvedossa LIECHTI ja RITTER esittävät m. m.,

1. että on varmuudella osoitettu, että maahan tai lumelle tapahtuneessa lantavellityksessä syntyy ammoniakin haihtumisen vuoksi merkittäviä typenhäviöitä. Epäsuotuisissa olosuhteissa voi luulta-

[1]) Ammoniakin haihtumista koskevia välittömiä mittauksia on kyllä suoritettu aikaisemminkin. M. m. JÄNNES (1910) sekä useat hänen viittaamansa tutkijat ovat niitä tehneet. Mutta kaikissa näissä varhaisimmissa tutkimuksissa koe-olosuhteet oli järjestetty muita seikkoja kuin ammoniakin haihtumisnopeuden selvittämistä silmällä pitäen. M. m. ilman vaihto oli niin hidasta, etteivät olosuhteet siihen nähden ollenkaan vastanneet luonnossa vallitsevia.

[2]) Kun sanoista »Gülle» ja »begüllen» ei ole vakiintunut kieleemme mitään vastinetta, käytän niiden merkityksessä paremman puutteessa sanoja »lantavelli» ja »lantavellittää».

[3]) 1 t. 25 min. keskeytys.

[4]) 2 t. keskeytys.

[5]) ½ t. keskeytys.

vasti $^1/_3$ tai ehkä enemmänkin lantavellissä annetusta ammoniakkitypestä mennä hukkaan.

2. että häviöt muodostuvat vapaassa ilmassa yleensä suuremmiksi kuin heidän kokeissaan, erittäinkin kun ilman vaihto on vapaassa ilmassa yleensä suurempi, ja auringon säteilykin pääsee esteettä vaikuttamaan.

3. että lantavellitettäessä lumen peittämää maata on lämpötilalla hyvin tärkeä merkitys ammoniakin haihtumiseen nähden.

4. että heidän kokeissaan lumipeite on vähentänyt ammoniakin menetystä $^2/_3$:lla silloin kun lämpötila on ollut 0-asteen yläpuolella.

5. että lämpötilan ollessa 0-asteen alapuolella lumipeite on päinvastoin lisännyt häviötä noin neljänneksellä.

6. että huomattavia häviöitä voitiin todeta vielä 2. ja 3. päivänä.

Tovborg-Jensen on suorittanut lukuisia kokeita, joilla hän on laboratoriomenetelmin määrännyt paitsi ammoniakin kokonaishaihtumisen myöskin haihtumisen kulun erilaisissa olosuhteissa. Useista hänen tuloksistaan (vert. esim. 1930, s. 174—175) ilmenee, että haihtuminen hidastuu eräitä konservoimis-aineita käytettäessä hyvin paljon. Tällöin on kuitenkin otettava lukuun se jo edellä (siv. 20) viitattu seikka, että karbonaattisakka oli kokeiden suoritustavasta johtuen tullut eroitetuksi tutkittavista liuoksista. Lämpötilan vaikutuksesta haihtumiseen Tovborg-Jensen mainitsee (1929, s. 67—68), että lämpötilan nousu 10° C lisää haihtumisen enemmän kuin kaksinkertaiseksi (Vert. edellä s. 10 sekä myöh. s. 57). Eräästä kokeesta (1928, s. 137) ilmenee, että ilmanvaihdon hidastuminen hidastaa haihtumista tuntuvasti. Tuuletusilman kosteus sensijaan ei Tovborg-Jensenin kokeissa vaikuttanut haihtumiseen, joka oli käytännöllisesti katsoen sama käytettiinpä joko aivan kuivaa tai vesihöyryn kyllästämää ilmaa. *Dalton'in lain* mukaan vesihöyryn paineella ei pitäisikään olla mitään vaikutusta ammoniakin haihtuvaisuuteen. Siitä huolimatta suodatinpapereilla suoritetun kokeen tulos ei liene yleistettävissä, koska voidaan olettaa, että eräiden toisten, haihtumisnopeuteen vaikuttavien tekijöiden arvo riippuu välillisesti myöskin vesihöyryn paineesta, vaikkei tämä pääsekään näkyviin niissä olosuhteissa, joissa puheen alaiset kokeet suoritettiin. Tovborg-Jensen (1928, s. 122) suoritti nämät kokeet siten, että tutkittava liuos imeytettiin suodatinpaperiin ja siitä haihtunut ammoniakki koottiin ja mitattiin titraten. Vaikka tämä »paperimenetelmä» ilmeisen hyvin soveltuukin tutkittaessa esim. konservoimisaineiden vaikutusta yleensä, eivät täten saadut tulokset ole ollenkaan yleistettävissä tavalliseen käytäntöön. Sillä haihtumisnopeus paperiin imeytetystä virtsasta on useastakin syystä vallan toista suuruusluokkaa kuin maahan imeyty-

neestä virtsasta. Tovborg-Jensen suorittikin erään koesarjan myöskin siten, että maahan levitetystä virtsasta haihtunut ammoniakkimäärä mitattiin (1930, s. 169). Hän suoritti nämät kokeensa 13 sm läpimittaista eksikaattoria haihdutusastiana käyttäen. Siihen pantiin 15 sm paksuinen kerros koemaata, jonka pinnalle levitettiin pipetillä 0.35 % N sisältävää virtsaa annos, joka vastasi 20 ton/ha. Sivureiän kautta eksikaattoriin oli johdettu kaksi putkea, jotka päättyivät sen vastakkaisille laidoille lähelle maan pintaa. Näiden putkien kautta vesihöyryllä kyllästetty tuuletus-ilma johdettiin eksikaattorin ja n/10 HCl sisältävien kaasunpesupullojen lävitse. Kukin osakoe keskeytettiin määrä-ajoin aina siihen mennessä haihtuneen ammoniakin titrausta varten. Eri tapauksissa ammoniakki haihtui seuraavasta yhdistelmästä ilmenevällä tavalla (vert. 1928 s. 139—140 tai 1930, s. 168—169):

Ammoniakin haihtuminen maahan levitetystä virtsasta Tovborg-Jensen*in mukaan.*

Aika tunt.	Hiekkamaa		Savimaa			Ruohoa kasvava savimaa
	Kostea	Ilmakuiva	Kostea	Ilmakuiva	Veden kylläst.	
	Ammoniakista haihtunut %					
0.25	1.5	—	—	—	—	—
0.50	—	—	6.5	—	—	2.4
1.00	—	—	—	—	10.8	4.9
1.50	5.0	5.6	—	5.6	—	—
2.00	—	—	8.8	—	—	8.3
2.50	—	—	—	—	17.4	—
3.00	9.0	—	—	10.5	—	—
3.50	—	—	—	—	—	11.5
4.00	—	13.3	10.0	—	21.2	—
4.50	13.0	—	—	—	—	—
5.00	—	—	—	14.0	—	13.8
5.50	—	—	11.0	—	—	—
6.00	17.0	—	—	—	—	—
6.50	—	—	—	—	25.0	—
7.50	20.5	—	—	—	—	—
8.00	—	20.7	—	18.0	—	17.5
9.00	22.6	—	11.2	—	26.5	—
10.50	24.6	—	—	—	—	—
11.00	—	25.0	—	21.0	—	20.0
12.00	26.0	—	11.4	—	26.8	—

Ammoniakin haihtumisen aiheuttamia typenhäviöitä koskevista tutkimuksista ovat Tanskassa suoritetut, Iversenin (1934) julkaisemat, virtsan multaus-aikaa ja -tapaa koskevat kenttäkokeet eri-

koisen huomattavia. Haihtuneet ammoniakkimäärät eivät tosin selviä näistä kokeista, mutta sensijaan niistä saa hyvin selvän kuvan haihtumisen vaikutuksesta tuotantoon. Täys-annos virtsaa vastasi näissä kokeissa viljakasveille 75 ja juurikasveille 150 kg N/ha. Käytetty virtsa oli kaivoissa säilytettyä, yleensä melko typpirikasta tuotetta (vert. 1934, s. 174). Peruslannoituksen lisäksi annetulla virtsalannoituksella saadut sadonlisäykset samoinkuin kokeiden jäsentely selviävät pääpiirteissään seuraavasta IVERSEN'in (1934, s. 195—196) mukaan laaditusta yhdistelmästä:

Virtsa-annos ja multaus-aika	Sadon lisäys ha:lta desitonnia jyviä tai kuiva-ainetta ja virtsan arvoluku [1] Mullattu heti = 1.00									
	Kaura 9 koetta		Ohra 6 koetta		Sekavilja 4 koetta		Lanttu 8 koetta		Peruna 4 koetta	
	dt	arvoluku	dt	arvoluku	dt	arvoluku	dt	arvoluku	dt	arvoluku
1 virtsaa, heti	16.4	1.00	14.1	1.00	11.3	1.00	29.8	1.00	27.6	1.00
1 » 6 t. kuluttua	14.5	0.73	13.6	0.93	11.1	0.95	27.0	0.76	22.3	0.59
1 » 24 t. »	13.5	0.63	12.8	0.83	10.0	0.74	25.1	0.65	21.8	0.57
1 » 4 pv. »	12.3	0.53	12.0	0.74	9.4	0.65	23.4	0.57	18.9	0.44
1/2 » heti	11.8	1.00	9.3	1.00	8.1	1.00	21.8	1.00	20.4	1.00

Multaamattoman virtsan teho on näiden kokeiden mukaan alentunut 4 päivässä lähes puoleen alkuperäisestä. Oikeastaan ehkä vähän enemmänkin, sillä on hyvin luultavaa, että myöskin vertailuperusteena pidettyä »heti mullattua» on kohdannut joltinenkin ammoniakin häviö. (Vert. 1934, s. 173). Niinpä eräissä kokeissa, joissa itsemultaavalla levittäjällä toimitettua virtsan levitystä verrattiin äkeillä toimitettuun, saatiin levittäjää käyttäen huomattavasti suuremmat sadon lisäykset kuin äkeellä tai kultivaattorilla »heti mullaten». (Vert. 1934, s. 193).

Edellä selostettuihin IVERSEN'in julkaisemiin tutkimuksiin liittyi myös eräitä kokeita, joissa vertailtiin toisiinsa auralla ja äkeellä toimitettua multausta. Näissä kokeissa saatiin kyntäen keskimäärin jonkin verran paremmat tulokset kuin äestäen. Auralla toimitetun multauksen etevämmyys äkeellä toimitettuun verraten johtuu ilmeisesti siitä, että aura jättää maan pintakerrokseen vähemmän virtsaa

[1]) Arvoluku (1934, s. 177) ilmaisee kuinka suuri osa koko virtsa-annoksesta heti mullaten olisi tarvittu antamaan sen suuruisen sadon lisäyksen kuin kussakin vastaavassa koejäsenessä todella saatiin. Niinpä kauralla suoritetuissa kokeissa sama sadon lisäys, joka saatiin 1 000 kilolla virtsaa multauksen tapahduttua 6 tai 24 tunnin tai 4 päivän kuluttua olisi saatu vastaavasti 730—630—530 kilolla virtsaa, jos multaus olisi tapahtunut heti levityksen jälkeen.

kuin äes [1]). Virtsaan nähden syvä multaus saattaakin olla paremmin paikallaan kuin useimmiten suhteellisen vähän ammoniakkia sisältävään kiinteään lantaan nähden. Sillä virtsan ammoniakin hyväksi käyttö ei ole ilmeisestikään niin riippuvainen runsaasta ilman saannista kuin kiinteän lannan hajoaminen, varsinkaan kun runsain annoksin käytetty kaasumainen ammoniakki joka tapauksessa leviää maassa nopeasti.

Tanskalaisten multaus-tapa kokeiden tuloksia ei voitane varauksitta yleistää kaikkiin olosuhteisiin, varsinkaan kaikkiin maalajeihin nähden. Tanskan kokeet on koeselostusten mukaan suoritettu enimmäkseen kevyillä mailla, joilla kevätkyntö yleensäkin reagoi toisin kuin esim. raskailla ja paakkuuntumiseen taipuvilla savikoilla, joilla kevätkynnön varjopuolet voivat muodostua vaikutuksiltaan suuremmiksi kuin typen säästöllä mahdollisesti saavutettava hyöty.

Huomattavasti toisistaan poikkeavia mielipiteitä on kirjallisuudessa esitetty siihen nähden, miten suuri osa virtsan ammoniakista ehtii haihtua itse levityksen aikana, eli sillä välin, minkä virtsa levittäjän suukappaleesta pudotessaan viipyy ilmassa [2]). Tätä valaisevia kokeita on tehty kuitenkin niin vähän, että varman käsityksen saaminen on vaikeata. IVERSEN (1934, s. 194) mainitsee erään A s k o v'issa suoritetun kokeen, jonka mukaan ammoniakin vähenemistä ei voitu juuri ollenkaan todeta, vaikka koe suoritettiin voimakkaan tuulen (9 Beuf.) ja kohtalaisen korkean lämpötilan (8.0—8.6°) vallitessa. Myöskin LIECHTI ja RITTER (1910, s. 500) totesivat levityksen kuluessa tapahtuvan ammoniakin haihtumisen niin vähäiseksi (alle 1 %), että sen voi jättää huomioon ottamatta. EGNÉR (s. 31) on kuitenkin laskenut, että LIECHTI ja RITTER'in kokeessa oli tuuletusfaktorin arvo ainoastaan 135. vaikka se voi olla käytännössä monin verroin suurempi [3]). Niinpä EGNÉR arveleekin (s. 33), että ammoniakin haihtuminen voi liuoksen ilmassa-olon aikana kohota epäedullisissa olosuhteissa jopa 20 prosenttiin. Tätä otaksumaa eivät mitkään suoranaiset koetulokset kuitenkaan tue. EGNÉR näyttää edellyttäneen, että määrätty tasapaino todellakin syntyy nesteen ja ilman ammoniakkikonsentratioiden kesken, mikä ei kuitenkaan ole

---

[1]) Syvää virtsan multausta ovat puoltaneet myöskin m. m. HONCAMP ja BLANCK (1916). Heidän käsityksensä mukaan virtsan multaus olisi toimitettava 15—25 sm syvyyteen. Vert. myös HONCAMP (1931, s. 270).

[2]) Tämä koskee vanhemman mallisia levittäjiä. Uudempia, itsemultaavia levittäjiä käytettäessähän virtsa ei joudu sanottavasti kosketuksiin ilman kanssa, joten haihtumisenkaan ei tule kysymykseen.

[3]) Tuuletusfaktorilla EGNÉR tarkoittaa kokonais-ilmavolymin ja sen kanssa tasapainossa olevan alkuperäisen nestevolymin suhdetta (s. 27).

ollenkaan varmaa, varsinkaan silloin kun tuulen nopeus on suuri. On ilmeistä, että nestepisaroiden pinnalle syntyy saman tapainen, joskin tiettävästi hyvin ohut kerrosmuodostuma, josta siv. 28 mainittiin. Sen vuoksi todellinen haihtuvaisuusfaktori on paljon alhaisempi kuin virtsan pH-luku tätä kerrosmuodostumaa huomioon ottamatta edellyttäisi. Etupäässä diffusiona tapahtuva ammoniakin siirtyminen pisaran sisästä pinnalle vaatii aikansa. Kun Egnér ei ole ottanut ollenkaan tästä johtuvaa aikafaktoria huomioon, on selitettävissä, että hän on teoreettisissa laskelmissaan johtunut tavattoman suureen ja joka tapauksessa kokeilutietä saaduista arvoista paljon poikkeavaan haihtumiseen. Haihtuminen voisi saavuttaa Egnér'in laskeman määrän jos virtsa levitettäisiin aivan pieniksi pisaroiksi sumutettuna. Mutta näin ei käytännössä menetellä.

IV. Satakunnan kasvinviljelyskoeasemalla suoritetut tutkimukset

A. Laboratoriokokeet.

1. *Tutkimusmenetelmistä.*

Aineistoa koskevat kokonaistypen määräykset toimitettiin K j e l d a h l in metodin mukaan. Polttoon käytin virtsasta 10—20 ccm ja virtsapehkusta 10—30 g suuruisia näytteitä. Lopputislaukseen otettiin $^1/_5$—$^1/_2$ poltoksen koko määrästä. Jokainen määräys niin poltosta kuin tislauksestakin tehtiin kahtena kertausanalysina. Analysien uusimiseen ei ollut yleensä aihetta, mutta niissä tapauksissa, jolloin typpipitoisuus kokonaistyppi-määräysten eri kertauksissa erosi toisistaan enemmän kuin 0.03 %, suoritin analysin kokonaan uudelleen. Vaihtelun ollessa 0.02—0.03 % uudistin ainoastaan toisen kertauksen. Sikäli kuin tulos sattui aikaisempien arvojen välille otettiin kaikki kolme huomioon keskiarvoa laskettaessa, muuten ainoastaan kaksi toisiaan lähinnä ollutta arvoa.

Käyttämäni valmiiksi merkittyinä ostetut mittausvälineet kuten pullot, pipetit ja byretit tarkistin Treadwellin (1937) mukaan. Kojeiden epätarkkuuksista johtuneita virheitä en ottanut huomioon, sillä nämät epätarkkuudet olivat kaikkiin käyttämiini välineisiin nähden pienemmät kuin *Normaleichungskommission*'in sallimat. (Vert. Treadwell, s. 450, 452, 453). Normaaliliuoksia valmistettaessa käytin aina samoja mittausvälineitä.

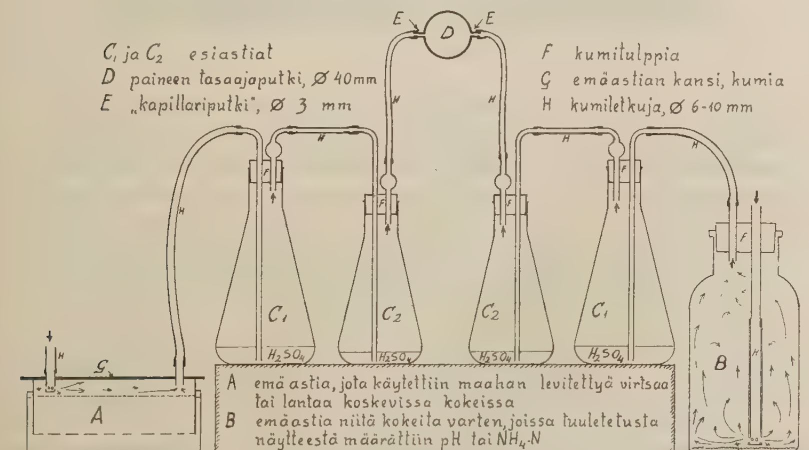
$NH_4^{\cdot\cdot}$-N-määräyksiin käytin sekä virtsasta että virtsapehkusta 10 g suuruisia näytteitä. Myöskin näistä suoritin 2 tai 3 kertausanalysiä. Paitsi virtsan suoritin myöskin hyvin homogenisoidun virtsapehkun tislaukset välittömästi MgO:n kera. Täten saadut arvot ovat mahdollisesti hieman liian suuria, koska on luultavaa, että MgO karkoitti liuoksesta paitsi NH_4 -typen, myöskin pienen osan muusta, lähinnä amidittypestä. Eräässä koesarjassa (ks. s. 61) toimitin samoista näytteistä useampia tislauksia peräkkäin. Ensin

ainoastaan vettä lisäten [1]), ja kun ammoniakin tulo oli päättynyt, lisäsin näytteeseen MgO:a jatkaen tislausta edelleen. Kun ammoniakin tulo oli 20—30 minutin keittämisen jälkeen loppunut, lisäsin tislauspulloon kyllästettyä NaOH-liuosta ja jatkoin tislausta edelleen. Noin 1/2 tunnin kiehumisen jälkeen ammoniakin tulo taukosi jälleen. Kunkin osatislauksen jälkeen vaihdettiin esiastiat. Kiehumisen tasaamiseksi sekä poksahtelun ja kuohumisen vaimentamiseksi panin keittopulloihin hyppysellisen hienonnettua sinkkiä ja pienen parafinipalasen. Esiastioissa oli n/10 H_2SO_4, takaisintitrauksessa käytin n/10 NaOH ja indikaattorina kongopunaista.

Kun tässä esityksessä myöhemmin puhutaan NH_4^+-typestä, tarkoitetaan sikäli kun ei nimenomaan toisin sanota, MgO:lla tislautunutta määrää.

Reaktion määräykset suoritin köpenhaminalaisen *Radiometer*'in putkivahvistajalla varustetulla PHM 11-tyyppisellä kojeella käyttäen lasielektrodia tyyppiä R ja vertailuelektrodia tyyppiä K.

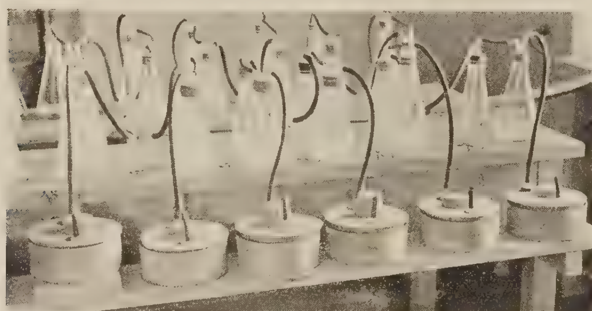
Maahan levitetystä virtsasta tai lannasta haihtuvan ammoniakin keräämisessä käytin yksityiskohtiin nähden huomattavasti muunnettuja, mutta toimintaperiaatteiltaan saman tapaisia laitteita, jollaisia m. m. LIECHTI ja RITTER sekä TOVBORG-JENSEN käyttivät omissa kokeissaan.



Kuva 1. Haihdutuslaitteet.
Abb. 1. Verdunstungsapparat.

[1]) Käytetty kaivovesi oli hyvin »kovaa» ja emäksistä. 100 ccm neutralisoimiseen kului 0.7 ccm n/1 happoa.

Kuvassa 1, joka on osittain kaavamainen, on vasemmalla »virtsakokeissa» käytetty haihdutusastia (A). Sen uloimman osan muodostaa ohuesta sinkkilevystä valmistettu pyöreä, 6 cm korkea astia. Siihen pantiin kulloinkin kysymykseen tullutta koemaata n. 5 cm paksuinen kerros. Tähän painettiin toinen, paksummasta sinkkilevystä valmistettu, 6 cm levyinen rengas, jonka yläreuna oli hiottu suoraksi, ja jonka rajoittama ala oli 150 cm^2. Paksusta kumilevystä valmistetun kannen (G) ja mullan väliin jäi n. 13 mm korkea eli n. 200 ccm suuruinen ilmatila. Kannen lävitse johti 2 putkea tuuletus-ilman kulkua varten. Raittiin ilman tuloputken alapää oli suljettu, mutta



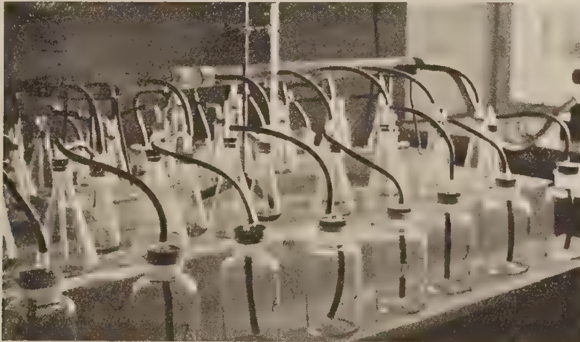
Kuva 2. — *Abb. 2.*

aivan pään lähellä oli useita pieniä reikiä, joiden kautta tulo-ilma hajaantui astian eri puolille. Kaasujen poistoputki johti kahden peräkkäin yhdistetyn, rikkihappoa sisältävän esiastian (C_1 ja C_2) ja kuristusputken (E) kautta väljään paineen tasaajaputkeen (D), johon sähkölietson avulla kehitettiin vahva imu. Kuvassa ylinnä näkyvä tasaajaputki oli n. 1 m pituinen. Sen kummallakin sivulla oli 8 kpl. 3 mm läpimittaisesta putkesta valmistettua haaraa (E), joten isoon imuputkeen voitiin yhdistää kaikkiaan 16 osajärjestelmää ja suorittaa siis 16 osakoetta saman aikaisesti.

Kuvan (1) oikeanpuolisessa reunassa olevaa haihdutus-astiaa käytin niissä kokeissa, joissa näytteistä määrättiin pH, tai joissa näytettä muuten tarvittiin vielä tuuletuksen jälkeen.

Järjestelmän lävitse kulkeneen tuuletus-ilman tilavuutta minun ei onnistunut mitata tarkalleen. Mutta oli kokeissa käyttämäni ilman vaihdon nopeus yhtä haihdutus-astiaa (osajärjestelmä) kohden yleensä suunnilleen 5—6 litraa minutissa. Tämän mukaan ilma vaihtui vasemman puolisissa (kuva 1) haihdutus-astioissa (A) n. 25

kertaa ja oikeanpuolisissa (B) 5—6 kertaa minutissa. Jälkimäisissäkin oli ilman vaihto kuitenkin varsin tehokas, sillä raitis ilma johdettiin pullon pohjan lähelle, ja kun ilma kulki täällä aluksi suoraan sivuille päin, voi pitää uskottavana, että ilman vaihto tapahtui näytteen pinnalla »luonnollisia olosuhteita» suunnilleen vastaavalla nopeudella.[1]) Savua apuna käyttäen saattoi helposti todeta, että ilma pysyi pullon pohjalla jatkuvasti »raittiina», vaikka savu viipyikin hetkisen pullon ylä-osassa. Käyttämälläni tuulen nopeudella saavutettiinkin kumpaisessakin haihdutus-astiassa ilmeisesti lähes suurin mahdollinen ammoniakin haihtumisnopeus. Sillä kuten eräillä eri-



Kuva 3. — *Abb. 3.*

koiskokeilla saatoin todeta, ei tuuletusnopeuden joltinenkin suurentaminen tai pienentäminen vaikuttanut oleellisesti haihtumiseen. Hidasta ilmanvaihtoa käytettäessä tämän nopeus kuitenkin tuntui huomattavasti myöskin haihtumisessa, ja pienetkin tuuletuksen vaih-

[1]) Noin 5 litraa ilmaa sivuutti 1.3 cm paksuisena kerroksena 150 cm^2 suuruisen alan. Jos otaksutaan haihdutusastia neliön muotoiseksi ja ilmavirran sisääntulo tapahtuneeksi sen yhdeltä sivulta tämän pituisesta raosta ja poistuminen vastakkaiselta reunalta samanlaisesta raosta, saadaan ilmavirran keskimääräiseksi nopeudeksi $\frac{5\,000}{1.3 \times 12.3}$ cm, eli noin 3 m/sek., mikä Helmannin (1919) mukaan vastannee suunilleen 7—8 m/sek. tuulen nopeutta 2 m korkeudessa. Haihdutusastian ja tuuletusputkien muodosta ja näiden sijoitustavasta johtuen ilmavirran nopeus ei voinut kuitenkaan olla tasainen astian joka kohdassa, vaan sen täytyi olla halkaisijan vaiheilla suurempi kuin sivuilla. Tuulen nopeuden arvio ei sen vuoksi voi myöskään olla läheskään tarkka. Mutta tarkoitukseen riittäneekin toteamus, että se joka tapauksessa vastasi »voimakasta tuulta», luultavasti voimakkaampaa kuin luonnossa keskimäärin vallitsee. Vaakasuoran liikkeen lisäksi luonnossa tulee kuitenkin usein kysymykseen myöskin auringon paisteen aiheuttama pystysuora ilman virtaus. Tätä ei koe-astioissa tapahtunut, koska ne olivat varjossa.

telut aiheuttivat suuria haihtumisnopeuksien eroja. (Vert. esim. TOVBORG-JENSEN, 1928, s. 137). Tämän välttämiseksi käytinkin kokeissa mahdollisimman vilkasta ilman vaihtoa. Hyvin suurta tuulen nopeutta täytyi kuitenkin välttää, sillä siinä tapauksessa ilmavirta olisi voinut viedä mennessään esiastioista pieniä nestepisaroita. Ettei kokeiden aikana näin tapahtunut, näkyi siitä, että esiastian (C_2) ja sen yläpuolella olevan kumiletkun liitoskohtaan kiinnitetty sininen lakmuspaperi pysyi sinisenä. Virtsapehkua koskevissa ja eräissä muissakin kokeissa oli ammoniakin haihtuminen kokeen alkuvaiheessa niin vilkasta, ettei koko ammoniakkimäärä pysähtynyt kaksinkertaiseenkaan esi-astiastoon, vaan 1—2 $^0/_0$ koko määrästä olisi mennyt lävitse, aiheuttaen siten vastaavan suuruisen virheen, ellei näissä tapauksissa olisi käytetty 3-kertaista kaasun pesua.

Tuuletukseen käytettiin laboratorion ilmaa, jonka lämpötila onnistuttiin pitämään niin tasaisesti 20 asteessa, että suurimmatkin poikkeukset puoleen ja toiseen jäivät alle 2 asteen. Myöskin ilman suhteellinen kosteus oli kaikkien kokeiden aikana hyvin tasaisesti 50 $^0/_0$ vaiheilla.

Edellä jo mainittiin, että haihdutuslaitteessa voitiin suorittaa 16 osakoetta saman aikaisesti. Useampien hoitaminen olisikin ollut teknillisesti ylivoimaista. Mutta näillä saatoin jo suorittaa pitkähkötkin koesarjat suhteellisen nopeasti siitä huolimatta, että tein jokaisesta kokeesta 3—4 kertausta. Tulosten varmistamisen vuoksi useiden kertausten järjestäminen olikin välttämätöntä. Sillä oli erittäin vaikeata toimittaa esim. koemaan tiivistämistä ja lannoitteen levittämistä niin tasaisesti, etteivät näissä suhteissa syntyneet erot olisi aiheuttaneet melko suuriakin vaihteluja tuloksiin. Mutta että vaihtelut sentään saatiin pysymään jotenkin kohtuullisina, voidaan päätellä tulostaulukoissa esitetyistä keskiarvojen keskivirheistä, jotka on laskettu kaavan $m = \pm \sqrt{\frac{\Sigma v^2}{n(n-1)}}$ mukaan.

Haihdutuskokeiden suoritus tapahtui pääpiirteissään seuraavalla tavalla: Kunkin kokeen suunnitelman edellyttämä virtsamäärä levitettiin pipetillä mahdollisimman tasaisesti koe-alalle,[1]) jonka jälkeen haihtutus-astiat heti suljettiin ja yhdistettiin esiastioiden välityksellä tuuletuslaitteeseen. Tapahtuman aika merkittiin muistiin yleensä $^1/_2$ minutin tarkkuudella, eräissä yksityistapauksissa, jolloin tuuletus-aika oli koesuunnitelman mukaan lyhyt, merkittiin aika vieläkin tarkemmin. Kunkin kokeen alkaessa kaikki haihdutus-astiat »lannoitettiin» mainitulla tavalla peräkkäin määrätyssä järjestyksessä. Kaikkien 16 osakokeen lannoitus kesti tavallisesti 20—30 minuttia,

[1]) Virtsapehkunäytteet oli luonnollisestikin punnittava.

jonka ajan kuluttua haihtuneiden ammoniakkimäärien titrimetrinen analysi toimitettiin samassa järjestyksessä kuin lannoituskin. Titrauksiin nähden voidaan eritellä seuraavat työvaiheet, joiden mahdollisimman nopeasta suorituksesta kokeiden onnistuminen näytti oleellisesti riippuneen. Kun kaikki osakokeet oli lannoitettu työsuunnitelmaan kuuluvalla tavalla, aloitettiin titraus järjestelmän alkupäästä. Ensimäisen osajärjestelmän esiastiat irroitettiin haihdutus-astian ja imuputken yhteydestä, ja haihdutus-astian tuuletusputket pantiin pinteisiin. Nämät tehtävät suoritti apulaiseni, joka antoi esiastiat minulle, irroittaen samalla niiden tulpat. Oma tehtäväni oli huuhdella hapon jätteet putkista, yhdistää esiastioiden sisällys yhteen, huuhdella pullot 3 kertaan, toimittaa titraus, merkitä tulos ja mitata uusi happo esiastioihin, jotka apulaiseni vei ja kiinnitti takaisin entiselle paikalleen tuuletuksen jatkamista varten. Tällöin toimitin äsken mainittuja työvaiheita seuraavaan esiastiastoon nähden. Työskentely jatkui tähän tapaan siksi kunnes koko järjestelmä oli käyty lävitse. Siihen kului yleensä aikaa vähän vaille tunti, eli n. 3 1/2 min. keskimäärin kunkin osakokeen käsittelyyn. Kunkin kokeen alkuvaiheessa, jolloin haihtuminen oli vilkkainta, oli hyödyllistä tehdä haihtumishavaintoja mahdollisimman lyhyin väli-ajoin. Sen vuoksi toimitin toisen ja kolmannenkin titrauskierroksen yhteen mittaan. Myöhemmin kun ammoniakin haihtuminen hidastui ja tasaantui voitiin titrausten väli-aikojakin vähitellen pidentää.

Sitä 3 1/2 minutin aikaa, jonka kukin osakoe keskimäärin oli titrauksen vuoksi pysähdyksissä, ei ole otettu tulosten käsittelyssä huomioon. Tämän pysähdyksen aikana saattoi haihdutus-astian ilma kyllästyä ammoniakilla, ja tämä »ylimääräinen» ammoniakki meni tuuletuksen uudelleen alkaessa hyvin nopeasti esi-astioihin, aiheuttaen siten ajan kulkuun nähden pienen virheen. Voidaan kuitenkin helposti laskea, että pysäyksen aikana haihdutus-astian atmosferiin kertynyt ammoniakkimäärä oli kaikissa tapauksissa niin pieni, ettei sen huomioon ottaminen olisi sanottavasti vaikuttanut tuloksiin, varsinkaan kun muutenkin tyydyin typen määräyksissä yleensä n. 0.03 mg tarkkuuteen. Kunkin kokeen alkaessa, jolloin kaasufaasin ammoniakkikonsentratio muodostui tavallista suuremmaksi, ja jolloin ajankohdatkin merkittiin tarkemmin kuin yleensä, otettiin tämä »ylimääräinenkin» haihtuminen huomioon sillä tavalla, että tuuletuksen alkamishetkeksi merkittiin lannoitteen levityksen päättymishetki eikä varsinaisen tuuletuksen alkamisen, joka tapahtui aina muutamaa sekuntia myöhemmin.

Ennen seuraavissa luvuissa käsiteltävien haihdutuskokeiden suoritusta ja osittain niiden lomassa tein muutamia apukokeita, joiden

pääasiallisimpana tarkoituksena oli hankkia jonkinlainen ennakkoselvyys tutkimusmenetelmän käyttökelpoisuudesta. Ennen kaikkea oli tärkeätä tietää kuinka suuri osa ammoniakkitypestä pääsee tavalla tai toisella karkuun, ja miten suuri väistämätön työvirhe tämän johdosta oli odotettavissa. Tällaisia karkaamisen tilaisuuksia ammoniakilla oli useitakin. Ensinnäkään ei näytteiden ottoa ja punnitusta sekä levitystä voida toimittaa niin nopeasti, ettei näiden työvaiheiden aikana jokin määrä ammoniakkia haihtuisi. Vihdoin saattaa osa NH_3:sta kaikesta huolimatta läpäistä 3-kertaisenkin esiastiaston, varsinkin silloin kun haihtuminen on vilkasta ja tuuletus nopeata sekä esiastioiden nestekorkeus vähäinen ja hapon konsentratio alhainen. Nämät valmistavat kokeet, joiden tulokset esitetään alla olevassa yhdistelmässä, järjestettiin 2:lla erilaisella virtsa- ja 2:lla virtsapehkunäytteellä. Niistä tehtiin haihdutuslaitteessa 4 peräkkäistä haihdutuskoetta kustakin. Kun kaikkiaan runsaasti puolet alkuperäisistä NH_4^+-N-määristä oli täten »kylmätislauksissa» haihdutettu, määrättiin näytteessä jäljellä ollut NH_4^+-N kvantitatiivisesti. Täten saatujen typpimäärien ja asianomaisten näytteiden alkuperäisten typpimäärien eroitukset ilmaisevat kussakin tapauksessa tuntemattomalla tavalla hävinneet typpimäärät. Näiden menetelmän tarkistuskokeiden suhteen voidaan vielä huomauttaa, ettei näihin kuuluvia analysejä tehty mitenkään sen huolellisemmin kuin sitten myöhemmin varsinaisiin tutkimuksiin kuuluvia. Pikemminkin oltiin eräissä suhteissa vähän »huolimattomampia», joten on aihetta olettaa, että työvirhe on näissä valmistavissa kokeissa maksimiluokkaa.

Tulokset haihdutusmenetelmän tarkistuskokeista.

Nimi	Tutkittu lannoite: Määrä g	Sisälsi alunperin NH_4^+-N: ‰	Sisälsi alunperin NH_4^+-N: Kaikkiaan mg	Haihtunut typpeä mg: »Kylmätislauksessa»	Haihtunut typpeä mg: Lopputislauksessa	Haihtunut typpeä mg: Yhteensä mg	Typestä puuttui: mg	Typestä puuttui: %	Eri esiastioihin jäi »kylmätislauksissa» yht. %: C_1 [1]	C_2	C_3
Virtsa	25	7.96	**199.00**	122.20	76.13	**198.33**±0.18	**0.67**	0.34	87.1	11.4	1.5
»	25	3.98	**99.50**	52.08	46.85	**98.93**±0.30	**0.57**	0.58	88.3	10.6	1.1
Virtsapehku	20	6.90	**138.00**	85.20	50.77	**135.97**±0.34	**2.03**	1.47	90.6	8.3	1.1
»	20	4.49	**89.80**	53.10	36.02	**89.12**±0.21	**0.68**	0.76	86.1	12.1	1.8

Taulukosta ilmenee m. m., että työskentelyn eri vaiheissa hävinneen typen kokonaismäärä on ollut huomattavasti alle yhden pro-

[1]) Esiastiat numeroitu ilmavirran kulkusuuntaan. Ks. kuva (1).

sentin. Hyvin ammoniakkirikkaasta virtsapehkusta katosi kuitenkin lähes 1.5 %. Näin suuri häviö oli odotettavissakin, sillä näytteen punnitus ja levitys vei yli 4 min., jolla ajalla huomattava määrä ammoniakkia ehtii jo haihtua varsinkin näin typpirikkaasta lannasta.

Taulukon oikeanpuolisista sarekkeista ilmenee, että keskimäärin lähes 90 % koko NH_3-määrästä jäi ensimäiseen esiastiaan. Kolmanteen meni alle 2 %, sekin haihdutuksen alussa ensimäisen tunnin aikana. Myöhemmin ei ammoniakkia enää päässyt toisen esiastian ohi.

Tutkimusmenetelmien yksityiskohtia käsitellään vielä varsinaisten koeselostusten yhteydessä.

2. *Ammoniakin haihtuminen virtsalla lannoitetusta maasta.*

(Kokeet N:o 1—3).

a) Halle annettu virtsamäärä vakio, typpimäärä muuttuja.

Koemaa oli hiekkapitoista savimultaa, pH n. 6 (Comb.[1]). Nämät kokeet olivat toistensa kerrannaisia, eroten ainoastaan siinä suhteessa, että maa oli

kokeessa N:o 1 märkä, takertuva, tarttui työvälineisiin.
» N:o 2 kostea, muokkauskunnossa, pysyi puristettuna koossa, mutta ei tarttunut työvälineisiin.
» N:o 3 kuiva, kokonaan harmahtunut, ei pysynyt koossa.

Kullekin eri kostealle maalle levitettiin virtsaa seuraavat määrät:

a)	10 m^3	virtsaa	sisältäen	77.0	kg NH_4^+-N/ha
b)	»	»	»	51.3	»
c)	»	»	»	38.5	»
d)	»	»	»	25.6	»
e)	»	»	»	19.2	»

Virtsa oli kaikissa koejäsenissä alkuperältään samaa tuotetta, joka sisälsi 7.70 ‰ NH_4^+-N. Jäsenessä (a) tätä virtsaa käytettiin sellaisenaan; muissa koejäsenissä alkuperäinen virtsa laimennettiin tarpeellisella määrällä tislattua vettä.

Tulokset selviävät taulukoista I—III, s. 44 ja 47 sekä kuvista 4—6, joissa haihtumisen kulku ensimäisen 1/2 vuorokauden aikana on esitetty graafisesti. Kuvioista ilmenee, että haihtuminen on sekä totaalisesti että suhteellisesti sitä suurempi, mitä typpirikkaampaa virtsa on.

---

[1]) Näitä kokeita suorittaessani ei käytettävissäni vielä ollut tarkempia tuloksia antavia välineitä pH-luvun määräämiseksi.

Taulukko I. *Ammoniakin haihtuminen märkään savimaahan levitetystä virtsasta.*

Tabelle I. *Verlauf der Ammoniakentweichung aus Jauche, auf nassen Tonboden ausgebreitet.*

Lämpötila 18—22°C *Temperatur.*

Vert. kuva 4, s. 45. — *Vgl. Abb. 4, S. 45.*

Ha:lle annettu — *Ausgebreitet je ha*: Virtsaa m³ *Jauche*	NH₄⁺-N kg	Haihtunut ha-lta — *Entwichen je ha*: Aika t.[1] *Zeit St*[1]	kg N	Aika t.[1] *Zeit St*[1]	kg N	Aika t.[1] *Zeit St*[1]	kg N	Aika t.[1] *Zeit St*[1]	kg N	Aika t.[1] *Zeit St*[1]	kg N	Aika t.[1] *Zeit St*[1]	kg N	Aika t.[1] *Zeit St*[1]	kg N	Aika t.[1] *Zeit St*[1]	kg N	Aika t.[1] *Zeit St*[1]	kg N	Annetusta NH_4^+-N:stä *Von der NH_4^+-N-Gabe* %
10	77.0	0.97	3.45	3.03	6.47	7.02	9.33	11.9	11.20	16.0	12.62	23.3	14.76	44.0	19.82	68.2	22.80	73.2	23.24 ± 1.39	30.2
10	51.3	1.00	1.80	3.06	3.17	7.09	4.31	12.1	5.27	16.2	5.95	23.4	7.07	44.1	9.87	68.3	11.69	73.3	11.95 ± 1.15	23.3
10	38.5	1.05	1.23	3.37	1.91	7.39	2.66	12.1	3.31	16.5	3.85	23.8	4.69	44.2	6.39	68.5	7.32	73.4	7.45 ± 0.10	19.4
10	25.6	1.34	0.53	3.58	0.81	7.53	1.12	12.2	1.35	16.6	1.54	23.4	1.85	44.4	2.48	68.8	2.95	73.7	2.97 ± 0.08	11.6
10	19.2	1.50	0.50	3.79	0.70	7.78	1.01	12.3	1.20	16.8	1.43	24.2	1.68	44.6	2.08	69.0	2.58	73.8	2.58 ± 0.13	13.4

Taulukko II. *Ammoniakin haihtuminen kosteaan savimaahan levitetystä virtsasta.*

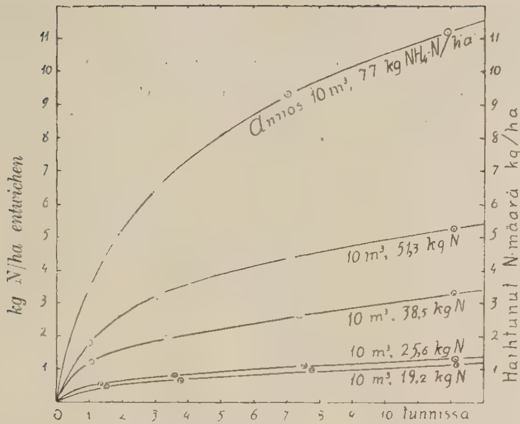
Tabelle II. *Verlauf der Ammoniakentweichung aus Jauche, auf feuchten Tonboden ausgebreitet.*

Lämpötila 18—22°C *Temperatur.*

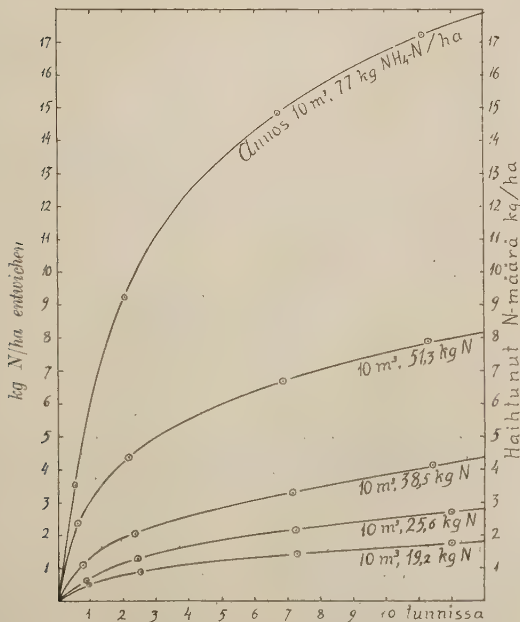
Vert. kuva 5, s. 45. — *Vgl. Abb. 5, S. 45.*

Ha:lle annettu — *Ausgebreitet je ha*: Virtsaa m³ *Jauche*	NH₄⁺-N kg	Haihtunut ha:lta — *Entwichen je ha*: Aika t.[1] *Zeit St*[1]	kg N	Aika t.[1] *Zeit St*[1]	kg N	Aika t.[1] *Zeit St*[1]	kg N	Aika t.[1] *Zeit St*[1]	kg N	Aika t.[1] *Zeit St*[1]	kg N	Aika t.[1] *Zeit St*[1]	kg N	Aika t.[1] *Zeit St*[1]	kg N	Aika t.[1] *Zeit St*[1]	kg N	Aika t.[1] *Zeit St*[1]	kg N	Aika t.[1] *Zeit St*[1]	kg N	Annetusta NH_4^+-N:stä *Von der NH_4^+-N-Gabe* %
10	77.0	0.51	3.52	2.03	9.25	6.70	14.83	11.12	17.22	21.6	20.57	33.5	23.58	56.5	28.87	79.8	32.43	102.3	34.78	126	36.66 ± 1.06	47.6
10	51.3	0.60	2.36	2.16	4.38	6.87	6.68	11.28	7.88	21.9	9.55	33.7	11.17	56.7	13.83	80.0	15.69	102.5	17.03	126	18.09 ± 1.04	35.3
10	38.5	0.78	1.09	2.35	2.04	7.11	3.30	11.14	4.11	22.1	5.40	33.9	6.62	56.9	8.69	80.3	9.91	102.7	10.98	126	11.78 ± 0.85	30.6
10	25.6	0.87	0.62	2.41	1.29	7.23	2.13			22.1	3.58	34.1	4.53	57.2	5.76	80.4	6.69	102.9	7.34	126	7.95 ± 0.49	31.1
10	19.2	0.96	0.52	2.51	0.89	7.28	1.42			22.5	2.45	34.1	3.02	57.2	3.91	80.4	4.19	102.9	4.89	126	5.32 ± 0.16	27.7

[1]) Kokeen alusta. — *Vom Anfang des Versuches.*

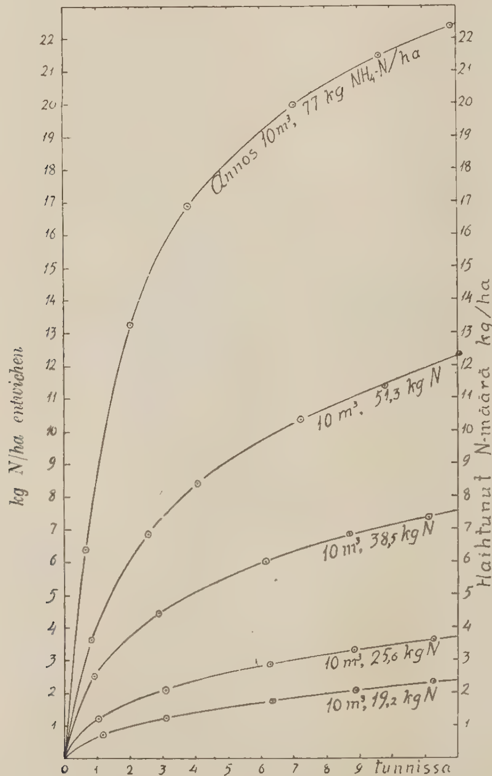


Kuva 4. Ammoniakin haihtuminen märkään savimaahan levitetystä virtsasta. Vert. taulukkoa I, s. 44.
Abb. 4. Entweichung von Ammoniak aus Jauche, auf nassen Tonboden ausgebreitet. Vgl. Tabelle I, S. 44.



Kuva 5. Ammoniakin haituminen kosteaan savimaahan levitetystä virtsasta. Vert. taulukkoa II, s. 44.
Abb. 5. Entweichung von Ammoniak aus Jauche, auf feuchten Tonboden ausgebreitet. Vgl. Tabelle II, S. 44.

Kuivasta maasta (kuva 6) haihtuminen on tapahtunut nopeammin kuin kosteasta (kuva 5) ja siitä taas nopeammin kuin märästä maasta (kuva 4). Ilmeisesti tämä johtuu siitä, että maaneste laimentaa virtsan eri suurin määrin, joten haihtuvaisuusfaktorin arvo tulee sitä pienemmäksi mitä suurempaan vesimäärään virtsa sekaantuu. Mutta



Kuva 6. Ammoniakin haihtuminen kuivaan savimaahan levitetystä virtsasta. Vert. taulukkoa III, s. 47.
Abb. 6. Entweichung von Ammoniak aus Jauche, auf trockenen Tonboden augebreitet. Vgl. Tabelle III, S. 47.

mahdollisesti vieläkin enemmän kuin tämä, vaikuttaa maan kosteus haihtumisnopeutta hidastavasti sillä tavalla, että virtsa imeytyy kosteaan ja kohtalaisen märkään maahan syvemmälle kuin kuivaan maahan ja varsinkin sellaiseen, jonka kostumisvastus (vert. esim. Aarnio, 1939, s. 95) on hyvin suuri. Päinvastoin kuin minun ko-

Taulukko III. *Ammoniakin haihtuminen kuivaan savimaahan levitetystä virtsasta.*

Tabelle III. *Verlauf der Ammoniakentweichung aus Jauche, auf trockenen Tonboden ausgebreitet.*

Lämpötila 18—22°C *Temperatur.*

Vert. kuva 6, s. 46. — *Vgl. Abb. 6, S. 46.*

Ha:lle annettu *Ausgebreitet je ha*		Haihtunut ha:lta — *Entwichen je ha*														Annetusta NH_4^+-N:stä
Virtsaa m³ *Jauche*	NH_4^+-N kg	Aika t. [1] *Zeit St* [1]	kg N	Aika t. [1] *Zeit St* [1]	kg N	Aika t. [1] *Zeit St* [1]	kg N	Aika t. [1] *Zeit St* [1]	kg N	Aika t. [1] *Zeit St* [1]	kg N	Aika t. [1] *Zeit St* [1]	kg N	Aika t. [1] *Zeit St* [1]	kg N	*Von der NH_4^+-N-Gabe* %
10	77.0	0.65	6.38	2.02	13.25	3.82	16.89	7.05	19.97	9.64	21.48	11.86	22.86	13.3	22.90 ± 0.07	29.7
10	51.3	0.82	3.62	2.56	6.85	4.04	8.39	7.22	10.33	9.82	11.38	12.08	12.33	13.3	12.57 ± 0.83	24.5
10	38.5	0.91	2.52	2.88	4.45	6.12	5.99	8.69	6.82	—	—	11.12	7.33	13.2	7.83 ± 0.59	20.3
10	25.6	1.06	1.23	3.06	2.10	6.27	2.88	8.85	3.31	—	—	11.25	3.58	13.1	3.86 ± 0.12	15.1
10	19.2	1.18	0.73	3.09	1.24	6.34	1.76	8.90	2.07	—	—	11.26	2.33	13.0	2.46 ± 0.16	12.8

Taulukko IV. *Ammoniakin haihtuminen savimaahan levitetystä virtsasta.*

Tabelle IV. *Verlauf der Ammoniakentweichung aus Jauche, auf trockenen Tonboden ausgebreitet.*

Lämpötila 18—22°C *Temperatur.*

Vert. kuva 9, s. 50. — *Vgl. Abb. 9, S. 50.*

Ha:lle annettu *Ausgebreitet je ha*		Haihtunut ha:lta — *Entwichen je ha*												Annetusta NH_4^+-N:stä
Virtsaa m³ *Jauche*	NH_4^+-N kg	Aika t. [1] *Zeit St* [1]	kg N	Aika t. [1] *Zeit St* [1]	kg N	Aika t. [1] *Zeit St* [1]	kg N	Aika t. [1] *Zeit St* [1]	kg N	Aika t. [1] *Zeit St* [1]	kg N	Aika t. [1] *Zeit St* [1]	kg N	*Von der NH_4^+-N-Gabe* %
6.7	51.3	1.31	7.79	3.44	10.67	7.99	13.02	11.96	14.20	17.8	15.14	23.1	15.70 ± 1.13	30.6
10.0	51.3	1.23	4.98	3.35	7.58	7.88	10.18	11.82	11.58	17.8	12.81	23.1	13.59 ± 0.12	26.4
13.3	51.3	1.11	4.67	3.27	6.68	7.78	9.19	11.73	10.58	17.7	11.72	23.1	12.62 ± 0.63	24.6
20.0	51.3	1.04	2.55	3.17	4.45	7.71	6.40	11.64	7.63	17.6	8.86	23.0	9.87 ± 0.56	19.2
26.6	51.3	0.97	2.24	3.10	4.00	7.65	5.68	11.53	6.72	17.5	7.95	23.0	9.03 ± 0.78	17.6

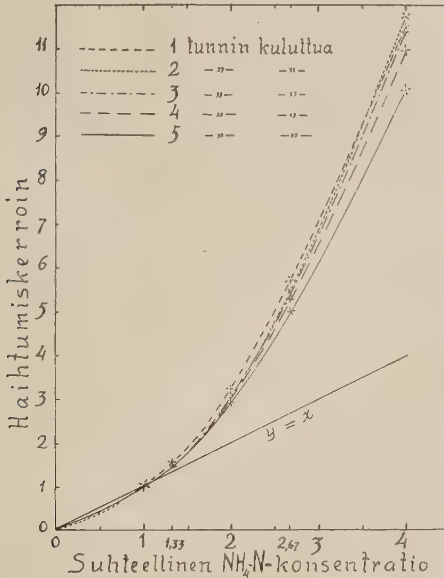
[1]) Kokeen alusta — *Vom Anfang des Versuches.*

keissani, oli haihtuminen TOVBORG-JENSENin suorittamissa (ks. edell. s. 32) märällä maalla suurin. Tulosten vastakkaisuus on tässä suhteessa kuitenkin ainoastaan näennäinen, sillä TOVBORG-JENSEN'in kokeissa märkä maa oli kokonaan veden kyllästämää, jonka vuoksi virtsa ei voinut imeytyä syvälle, vaan jäi ikäänkuin kellumaan pin-

Kuva 7. Ammoniakin keskimääräinen haihtuminen savimaahan levitetystä virtsasta; laskettu kuvien 4—6 mukaan.
Abb. 7. Durchschnittliche Entweichung von Ammoniak aus Jauche, auf Tonboden ausgebreitet; berechnet nach Abb. 4–6.

nalle. Minun kokeissani märkää maata edusti ainoastaan takertumisrajaan asti kostutettu maa, joka kykeni vielä imemään annetun virtsamäärän. Virtsan levittäminen tätä märemmälle maalle ei hevin tule käytännössäkään kysymykseen, jonka vuoksi vedellä kokonaan kyllästetyn maan käyttäminen kokeissakaan ei minua kiinnostanut.

Edellisiä kokeita koskevien piirrosten (kuvat 4—6) mukaan laadin piirroksen (kuva 7), josta ilmenee typen haihtuminen kunkin väkevyisestä virtsasta eri kosteilla mailla keskimäärin. Piirroksen oikeanpuoliseen reunaan on merkitty virtsoissa annettujen NH_4^+-N määrien (väkevyyksien) suhdeluvut antaen laihimmalle



Kuva 8. Haihtumisnopeuden riippuvaisuus ensi tuntien aikana virtsan NH_4^+-N-väkevyydestä; laskettu kuvassa 7 olevien paksujen käyrien mukaan. Konsentratio 1.92 ‰ NH_4^+-N yksikkönä.

Abb. 8. Abhängigkeit der Verdunstungsgeschwindigkeit von der NH_4^+-N-konzentration der Jauche; im Verlaufe der ersten Stunden nach der Ausbreitung derselben; berechnet nach dicken Kurven in Abb. 7. Als Einheit Konzentration 1.92 ‰ NH_4^+-N.

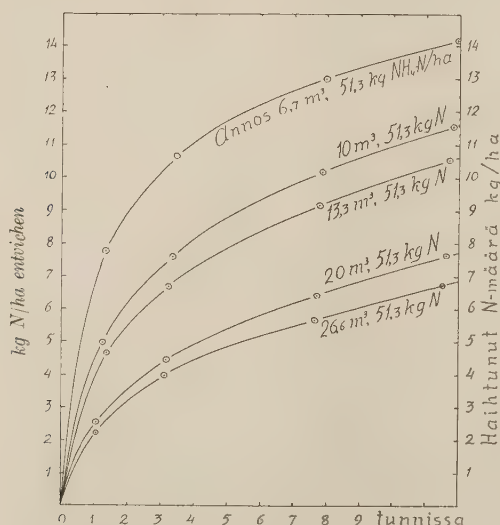
kokeissa käytetylle virtsalle (19.2 kg NH_4^+-N/ha) kunakin ajankohtana suhdeluvun = 1. Paksuilla yhtenäisillä viivoilla esitetyt haihtuneet määrät ovat kokeilla saatuja todellisia arvoja. Näiden perusteella, ja käyttäen apuna piirrosta (kuva 8) on arvioitu todennäkönen haihtuminen myös eräitä muita NH_4^+-N-väkevyyksiä edustaviin virtsoihin nähden. (Edellyttäen, että muut haihtumiseen

vaikuttavat tekijät ovat samat). Nämät todennäköiset arvot on kuvassa (7) esitetty pisteviivoilla. On tietenkin selvää, etteivät käyrien ilmaisemat haihtumisnopeudet ole yleispäteviä kaikissa mahdollisissa olosuhteissa.

b) Ha:lle annettu typpimäärä vakio, virtsamäärä muuttuja.

(Kokeet N:o 4—5).

Nämät kokeet suoritettiin samalla savimaalla kuin edelliset kokeet. Myöskin käytetty virtsa oli alunperin samaa, joskin NH_4 -N pitoisuus oli vähän alentunut. Tämä oikaistiin kuitenkin alkuperäi-



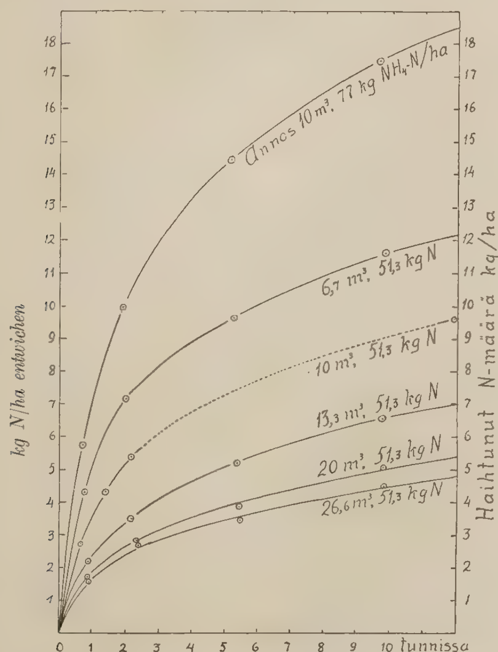
Kuva 9. Ammoniakin haihtuminen kuivaan savimaahan levitetystä virtsasta. Vert. taul. IV, s. 47.

Abb. 9. Entweichung von Ammoniak aus Jauche, auf trockenen Tonboden ausgebreitet. Vgl. Tab. IV, s. 47.

seksi lisäämällä virtsaan toista väkevämpää virtsaa. Mittarijäsenet (51.3 kg NH_4^+-N 10 m³:ssä/ha ja kokeessa N:o 5 [kuva 10] sitäpaitsi 77.0 kg NH_4 -N 10 m³: ssä virtsaa pro ha) tekevät mahdolliseksi summittaisen vertailun näiden ja edellisten kokeiden tulosten kesken. Sensijaan, että kokeissa 1—3 nestemäärä oli vakio ja typpimäärä muuttuja, järjestin kokeissa 4—5 typpiannoksen vakioksi ja nestemäärän muuttujaksi, kuten seuraavasta jäsentelystä selviää:

a) 51.3 kg NH_4^+-N/ha 6.7 m³:ssä virtsaa
b) » » 10.0 » »
c) » » 13.3 » »
d) » » 20.0 » »
e) » » 26.6 » »

Samoinkuin edellisistä ilmenee näistäkin kokeista (kuvat 9 ja 10 sekä taulukot IV ja V s. 47 ja 52), että käytetyn virtsan NH_4^+-N-väkevyys vaikuttaa oleellisesti haihtumisnopeuteen. Helposti ymmärrettävissä onkin, että sama ammoniakkimäärä joutuu suuremman nestemäärän ohessa kosketuksiin isomman maamassan kanssa kuin pienempää nestemäärää käytettäessä. Ja aiheuttaahan liuoksen laimeneminen jo sinänsäkin haihtuvaisuusfaktorin arvon alenemisen, kuten haihtumisen fysikalisia peruseita koskevassa luvussa edellä on osoitettu.



Kuva 10. Ammoniakin haihtuminen kosteaan savimaahan levitetystä virtsasta. Vert. taul. V, s. 52.
Abb. 10. Entweichung von Ammoniak aus Jauche, auf feuchten Tonboden ausgebreitet. Vgl. Tab. V, s. 52.

Taulukko V. *Ammoniakin haihtuminen tuoreelle sarimaalle levitetystä virtsasta.*

Tabelle V. *Verlauf der Ammoniakentweichung aus Jauche, auf feuchten Tonboden ausgebreitet.*

Lämpötila 18—22°C *Temperatur.*

Vert. kuva 10, s. 51. — *Vgl. Abb. 10, S. 51.*

Ha:lle annettu *Ausgebreitet je ha*		Haihtunut ha:lta — *Entwichen je ha*																		Annetusta NH_4^+-N:stä *Von der NH_4^+-N-Gabe* %
Virtsaa m[3] *Jauche*	NH_4-N kg	Aika t. [1]) *Zeit St* [1])	kg N	Aika t. [1]) *Zeit St* [1])	kg N	Aika t. [1]) *Zeit St* [1])	kg N	Aika t. [1]) *Zeit St* [1])	kg N	Aika t. [1]) *Zeit S* [1])	kg N	Aika t. [1]) *Zeit St* [1])	kg N	Aika t. [1]) *Zeit St* [1])	kg N	Aika t. [1]) *Zeit St* [1])	kg N	Aika t. [1]) *Zeit St* [1])	kg N	Aika t. [1]) *Zeit St* [1])	kg N	
10.0	77.0	0.68	5.77	1.89	9.96	5.12	14.46	9.63	17.49	20.3	21.78	32.8	25.11	44.1	27.58	67.2	30.43	90.5	32.15	104	32.9 ± 0.68	42.7
6.7	51.3	0.76	4.30	2.00	7.12	5.23	9.63	9.74	11.60	20.6	14.10	33.1	16.07	44.4	17.70	67.5	19.29	90.8	20.16	104	20.7 ± 0.41	40.4
10.0	51.3	0.62	2.71	1.35	4.31	2.15	5.38	11.90	9.58	25.0	12.40	34.0	13.78	44.2	14.93	67.1	16.59	82.5	17.38	95.4	18.2 ± 1.62	35.4
13.3	51.3	0.85	2.18	2.22	3.50	5.35	5.18	9.71	6.55	20.7	8.79	33.2	11.10	44.6	12.75	67.6	14.23	90.9	15.29	104	15.9 ± 0.62	31.1
20.0	51.3	0.87	1.70	2.36	2.83	5.44	3.81	9.79	5.10	20.8	6.86	33.4	8.98	44.8	10.29	67.8	11.63	91.1	12.75	104	13.3 ± 0.51	26.0
26.6	51.3	0.86	1.63	2.39	2.77	5.47	3.40	9.80	4.50	20.8	6.04	33.5	8.00	44.8	9.23	67.7	10.83	91.8	11.80	104	12.4 ± 0.12	24.1

Taulukko VI. *Ammoniakin haihtuminen laitumelle levitetystä virtsasta.*

Tabelle VI. *Verlauf der Ammoniakentweichung aus Jauche, auf eine Weide ausgebreitet.*

Lämpötila 18—22°C *Temperatur.*

Vert. kuva 11, s. 53. — *Vgl. Abb. 11, S. 53.*

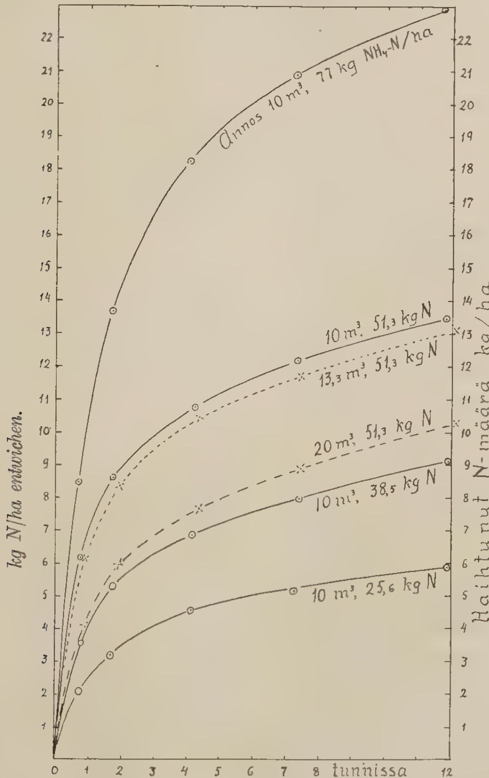
Ha:lle annettu *Ausgebreitet je ha*		Haihtunut ha-lta — *Entwichen je ha*																		Annetusta NH_4^+-N:stä *Von der NH_4^+-N-Gabe* %
Virtsaa m[3] *Jauche*	NH_4-N kg	Aika t. [1]) *Zeit St* [1])	kg N	Aika t. [1]) *Zeit St* [1])	kg N	Aika t. [1]) *Zeit St* [1])	kg N	Aika t. [1]) *Zeit St* [1])	kg N	Aika t. [1]) *Zeit St* [1])	kg N	Aika t. [1]) *Zeit St* [1])	kg N	Aika t. [1]) *Zeit St* [1])	kg N	Aika t. [1]) *Zeit St* [1])	kg N	Aika t. [1]) *Zeit St*[1])	kg N	Aika t. [1]) *Zeit St* [1])	kg N	
10.0	77.0	0.71	8.48	1.70	13.69	4.06	18.28	7.26	20.90	11.71	22.89	22.9	26.41	34.6	29.43	46.7	31.0	70.7	32.9	119	35.05 ± 0.18	45.5
10.0	51.3	0.78	6.16	1.76	8.60	4.14	10.75	7.33	12.18	11.82	13.46	23.0	15.49	34.7	16.86	46.9	17.6	70.9	18.6	119	19.74 ± 1.19	38.5
10.0	38.5	0.79	3.53	1.78	5.30	4.18	6.86	7.34	7.95	11.91	9.11	23.1	10.47	34.8	11.38	46.9	11.9	71.0	12.7	119	13.73 ± 1.48	35.7
10.0	25.6	0.72	2.10	1.70	3.19	4.12	4.57	7.24	5.11	11.85	5.89	23.0	6.71	34.7	7.18	46.9	7.5	70.9	7.9	118	8.68 ± 1.16	33.9
13.3	51.3	0.95	6.13	1.94	8.36	3.36	10.48	7.46	11.66	12.10	13.11	23.3	15.05	34.9	16.18	47.2	16.8	71.2	17.9	119	19.28 ± 0.95	37.6
20.0	51.3	0.93	4.18	1.95	5.97	4.38	7.67	7.46	8.88	12.13	10.29	23.4	11.99	35.0	13.03	47.2	13.8	71.3	14.9	118	16.76 ± 0.97	32.7

[1]) Kokeen alusta. — *Vom Anfang des Versuches.*

c) Ruohon peittämällä savimaalla suoritetut kokeet.

(Koe N:o 6).

Nämät kokeet (kuva 11 ja taulukko VI, s. 52) suoritettiin vanhalla laidunnurmella, jonka melko tarkkaan syödyn ruohon sänki tasattiin n. 1—2 cm pituiseksi. Maa oli edellisen päivän runsaan sateen johdosta kosteata, mutta ruoho oli kuitenkin kokeita aloitettaessa ehtinyt kuivua. Maanäytteet irroitettiin laitumen pinnasta säilyttämällä maan rakenne ennallaan. Näytteet olivat pyöreitä n. 13.9 cm läpimittaisia, joten ne voitiin panna haihdutus-astioihin



Kuva 11. Ammoniakin haihtuminen laitumelle levitetystä virtsasta. Vert taulukko VI, s. 52.

Abb. 11. Entweichung von Ammoniak aus Jauche, auf Weide ausgebreitet. Vgl. Tabelle VI, S. 52.

(A. kuva 1). Maanäytteillä suoritettiin ennen virtsan levitystä valmistavat kokeet, joilla todettiin, ettei maanäytteistä itsestään lähtenyt mitattavia ammoniakkimääriä, mikä mahdollisuus oli otettava lukuun sen vuoksi, että eläimiä oli vastikään ollut laitumella, josta näytteet otettiin.

Käyristä (kuva 11, josta kokeiden jäsentelykin selviää), ilmenee, että haihtuminen ruohoisesta maasta oli varsinkin tuuletuksen ensi tunteina hyvin vilkasta. Erittäin suuri oli haihtumisnopeus laitumella ensimäisen tunnin aikana. Myöhemmin se hidastui nopeammin kuin vastaavissa jäsenissä muokatulla maalla. Ero johtuu arvatenkin siitä, että laitumelle levitetystä virtsasta tarttui osa pisaroina ruohoon, josta haihtuminen pääsi tapahtumaan melkein esteettömästi. (Vert. myös s. 32). Maahan saakka päässyttä ammoniakkia ruohosto ilmeisesti suojasi haihtumiselta alentamalla tuuletusfaktorin arvoa.

Yhteenvedoksi kaikista edellä selostetuista kokeistani olen kuvissa 4—6 ja 9—11 esitettyjä käyriä apuna käyttäen laatinut sivulla 55 olevan taulukon VII, josta eri tapauksissa 4 ja 10 tunnin kuluessa haihtuneita typpimääriä voi verrata toisiinsa.

Tästä ja edellisistä taulukoista selviää:

1) että helposti mitattavia ammoniakkimääriä haihtuu savimaahan levitetystä, mutta multaamatta jätetystä virtsasta usean vuorokauden kuluessa, ja että yli puoletkin virtsan typestä voi haihtua ammoniakkina ilmaan, jonka vuoksi virtsan multaus on toimitettava viipymättä ja ylipäänsä sitä nopeammin mitä ammoniakkirikkaampaa virtsa on.

2) että haihtuminen on ensi hetkinä ja tunteina levityksen jälkeen vilkkaimmillaan, hidastuen vähitellen sillä tavoin, että

3) haihtunut määrä ajan funktiona voidaan ilmaista yhtälöllä $y = y_1 + k \times \log t$, jossa y_1 = ensimäisen tunnin aikana haihtunut NH_3-määrä ja k = vakio. Yhtälö on pätemätön ensimäisten minuuttien aikana tapahtuviin häviöihin nähden, mutta pätee jatkuvaan haihtumiseen nähden 119 tunninkin ajan, mikäli olosuhteet pysyvät muuttumattomina. (Vert. s. 86).

4) että virtsan laimentaminen vedellä alentaa typen häviötä hyvin tehokkaasti. Niinpä on laimentaminen (ks. kuvaa 7) yhtä suurella vesimäärällä pienentänyt tappion 3:nteen osaan, kaksinkertaisella vesimäärällä n. 6:nteen ja 3-kertaisella vesimäärällä laimentaminen n. 10:nteen osaan alkuperäisestä.

5) että laimentuminen tehostuu vielä huomattavasti, jos levitys toimitetaan maan ollessa sopivan kosteata ja imemiskykyistä.

Taulukko VII. *Ammoniakin muodossa tapahtuva typen haihtuminen erilaisille maille levitetystä virtsasta 4 ja 10 tunnin kuluessa.*

Tabelle VII. *Entweichung des Stickstoffes im Verlaufe von 4 und 10 Stunden in Form von Ammoniak aus Jauche, auf verschiedenartigen Böden ausgebreitet.*

Vert. kuvia 4, 5, 6, 9, 10 ja 11. — *Vgl. Abb. 4, 5, 6, 9, 10 und 11.*

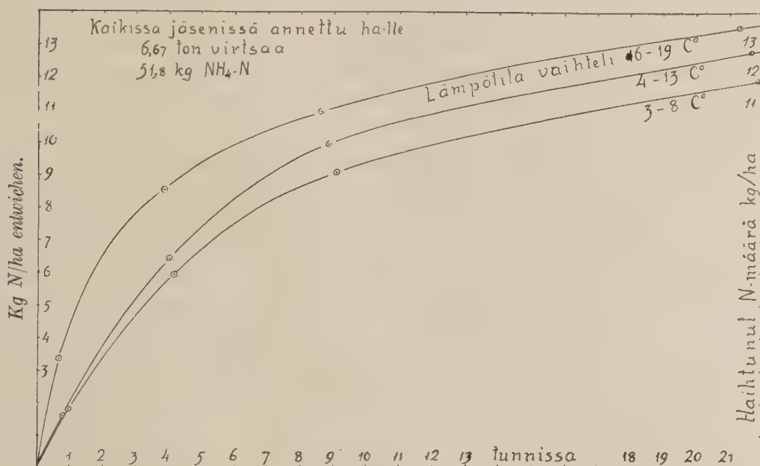
Annettu ha:lle *Ausgebreitet je ha*		Haihtunut ha:lta — *Entwichen je ha*			
		4 tunnin kuluessa *Im Verlaufe von 4 St*		10 tunnin kuluessa *Im Verlaufe von 10 St*	
Virtsaa m³ *Jauche*	NH_4^+-N kg	kg	%	kg	%
		Savimaa, märkä — *Tonboden, nass*			
10.0	77.0	7.3	9.5	10.5	13.6
10.0	51.3	3.5	6.8	4.9	9.6
10.0	38.5	2.1	5.5	3.1	8.0
10.0	25.6	0.9	3.5	1.3	5.1
10.0	19.2	0.7	3.6	1.0	5.2
		Savimaa, kostea — *Tonboden, feucht*			
10.0	77.0	12.1	15.7	16.6	21.6
10.0	51.3	5.4	10.5	7.6	14.8
10.0	38.5	2.5	6.5	3.8	9.9
10.0	25.6	1.6	6.2	2.5	9.7
10.0	19.2	1.1	5.7	1.6	8.3
		Savimaa, kuiva — *Tonboden, trocken*			
10.0	77.0	17.1	22.2	21.1	27.4
10.0	51.3	8.4	16.4	11.5	22.4
10.0	38.5	5.1	13.2	7.1	18.4
10.0	25.6	2.3	9.0	3.5	13.7
10.0	19.2	1.4	7.3	2.2	11.5
		Savimaa, kuiva — *Tonboden, trocken*			
6.7	51.3	11.1	21.6	13.2	25.7
10.0	51.3	8.1	15.8	11.0	21.6
13.3	51.3	7.4	14.4	10.0	19.5
20.0	51.3	4.9	9.6	7.1	13.8
26.6	51.3	4.3	8.4	6.3	12.3
		Savimaa, kostea — *Tonboden, feucht*			
10.0	77.0	13.3	17.3	17.7	23.0
6.7	51.3	8.9	17.3	11.7	22.8
10.0	51.3	6.5	12.6	9.0	17.5
13.3	51.3	4.5	8.8	6.6	12.8
20.0	51.3	3.5	6.8	5.1	9.9
26.6	51.3	3.1	6.0	4.5	8.8
		Laidun, savimaa, kostea — *Weide, Tonboden, feucht*			
10.0	77.0	18.3	23.8	22.2	28.9
10.0	51.3	10.7	20.9	12.9	25.2
13.3	51.3	10.2	19.9	12.4	24.2
20.0	51.3	7.5	14.6	9.6	18.7
10.0	38.5	6.8	17.6	8.6	22.3
10.0	25.6	4.5	17.6	5.6	21.9

6) että erikoisesti nurmelle levitetyn virtsan laimentaminen mahdollisimman suurella vesimäärällä on tärkeätä, koska multausta ei voida toimittaa. Niinkin laimeasta nurmelle levitetystä virtsasta, joka sisälsi n. 2.5 g NH_4^+-N/l, ja joka siis vastasi kaivossa kohtalaisen hyvin säilynyttä tuotetta, haihtui 10 tunnin kuluessa (kun käytettiin 10 m^3/ha) yli 21 % koko NH_4^+-N-määrästä, kokonaistappion mennessä (119 tunnissa) yli kolmanneksen hehtaarille annetusta määrästä.

d) Lämpötilan vaikutus ammoniakkitypen haihtumiseen maahan levitetystä virtsasta.

(Koe N:o 7).

Vallitsevalla lämpötilalla on tunnetusti hyvin suuri vaikutus liuoksessa olevan kaasun paineeseen ja siis myöskin haihtumisnopeuteen (vert. esim. ed. s. 10). En ole kuitenkaan tavannut selostuksia kokeista, joista lämpötilan vaikutus nimenomaan maahan imeytyneen virtsan ammoniakin haihtumiseen selviäisi. Lämpötilan vaikutusta koskevat maininnat (m. m. s. 31 viitatut) perustuvat aivan toisen luontoisissa olosuhteissa suoritettuihin kokeisiin. Niinpä m. m. Tovborg-Jensenin kokeet (1930, s. 166 ja 1938, s. 183—184) osoittavat, että ammoniakin paineen ja sen mukaan sen haihtumisen kuvaaja lämpötilan funktiona on käytännössä kysymykseen tulevalla lämpötila-alueella suora tai melkein suora viiva, jonka nousu kasvaa suunnilleen kaksinkertaiseksi lämpötilan kohotessa 10 asteella. Ettei lämpötilan vaikutus ammoniakin häviöön ole kuitenkaan luonnossa näin suuri, ilmenee Liechti ja Ritterin kokeista (ks. ed. s. 30). On otaksuttavissa, että maassa vallitsevissa olosuhteissa jokin toistaiseksi lähemmin tutkimaton tekijä osaksi eliminoi lämpötilafaktorin vaikutuksen. Entistä tarkemman selvyyden saamiseksi lämpötilan vaikutuksesta suoritin syksyllä 1939 joukon kokeiluja eri lämpötiloissa. Juuri niihin aikoihin puhjennut sotamme kuitenkin sillä kerralla keskeytti nämät kokeet, joiden uudistamiseen ei myöhemminkään ole tullut tilaisuutta. Erään kokeen ehdin kuitenkin kehittää niin pitkälle, että tuloksia voidaan käyttää siitä huolimatta, etten onnistunutkaan käytettävissäni olleilla laitteilla pysyttämään lämpötiloja jatkuvasti vakioina. Tämän kokeen antama tulos selviää kuvasta 12. Koemaa oli takertumis-asteeseen kostutettua savimultaa. Kahden alimman käyrän (ks. kuv. 12) edustamissa tapauksissa maa jäähdytettiin ennen virtsan levitystä 0-asteeseen ja pidettiin maan lämpö edelleenkin alhaisena sijoittamalla haihdutus-astiat jäävesi-kylpyyn. Haihtumiskäyrien alla mainitut



Kuva 12. Lämpötilan vaikutus ammoniakin haihtumiseen märkään savimaahan levitetystä virtsasta.

Abb. 12. Einfluss der Temperatur auf die Entweichung von Ammoniak aus Jauche, auf nassen Tonboden ausgebreitet.

lämpötilat tarkoittavat haihdutus-astioiden ilman lämpöä aivan maan pinnalla. Tämä mitattiin siten, että lämpömittarin alapää pistettiin haihdutus-astian kannen lävitse niin syvälle, että elohopeapallo kosketti kevyesti maan pintaa. Käytetty virtsa sisälsi 7.76 $^0/_{00}$ NH_4^+-N, ja lannoitus ha:lle oli 6.67 m^3 virtsaa, eli 51.8 kg NH_4^+-N.

Tuuletuksen ensi tunteina haihtumisnopeus oli lämpöisimmässä lähimain 2 kertaa niin suuri kuin alemmissa lämpötiloissa, joten tulos aluksi oli varsin yhtäpitävä ed. mainittujen Tovborg-Jensenin tulosten kanssa. Mutta myöhemmin (9. tai 10. tunnin jälkeen) haihtumiskäyrät lähenevät toisiaan.

Tulos viittaa siihen, että typen menetys kohoaa alhaisessakin lämmössä ajanmittaan lähes yhtä suureksi kuin korkeammassakin lämpötilassa. Mutta kun haihtuminen heti levityksen jälkeen on alhaisessa lämmössä joka tapauksessa paljo hitaampaa kuin korkean lämpötilan vallitessa, on selvää, että viileä sää on edullisempi virtsan levityksen toimittamiselle kuin lämmin. Alhainen lämpö näyttää kuitenkin olevan edullinen pääasiassa vain siten, että silloin on suuremmat mahdollisuudet toimittaa multaus ennen kuin typen häviö ehtii kohota kovin suureksi. Mutta ellei multausta ollenkaan suoriteta, ei levityshetken lämpötilalla voine ollaerikoisen suurta merkitystä typen kokonaishäviön suuruuteen, mikäli muut olosuhteet ovat samat.

Lannan talvella tapahtuvaa levitystä silmällä pitäen kiinnostaa kysymys ammoniakin haihtumisesta jäätyneestä lannasta kovalla pakkasella. TOVBORG-JENSEN (1938, s. 186) on imupaperimenetelmää käyttäen osoittanut, että ÷ 10° C lämmössäkin haihtuu huomattavia ammoniakkimääriä. Mutta esim. + 10° C lämmössä haihtumisnopeus oli kuitenkin 6—8 kertaa suurempi. Eräässä suorittamassani kokeessa haihtui 6.55 ‰ NH_4^+-N sisältäneestä jäädytetystä virtsapehkusta ÷ 14° C lämpötilassa 9 mg typpeä tunnissa dm^2:ltä. + 12 — + 14° C lämpötilassa samasta virtsapehkusta haihtui n. 30 mg typpeä tunnissa dm^2:ltä. Kumpaisessakin tapauksessa virtsapehku oli 10 cm paksuisena tiiviinä kerroksena. Ilman vaihto oli nopeata, n. 40 kertaa minutissa. Kokeet kestivät 11 tuntia. Haihtuminen jatkui koko sen ajan käytännöllisesti katsoen tasaisella nopeudella, ollen ensimäisen tunnin aikana kuitenkin vähän nopeampaa kuin keskimäärin. Nämät yksinkertaiset kokeet osoittavat, että ammoniakin häviö kohoaa kovalla pakkasellakin ajan mittaan suureksi. (Vert. TUORILA ja TAINIO, 1934, sekä ed. s. 31, kohdat 4. ja 5.).

e) Virtsan levityksen jälkeen tulevan sateen merkitys.

Levityksen jälkeen sattuneen sateen vaikutuksen tutkimiseksi tein ainoastaan muutamia demonstroivia ja siis suhteellisen vähäisellä tarkkuudella suoritettuja kokeita. Niissä käytin tuoreelle savimaalle ha kohden 77 kg NH_4^+-N 10 m^3:ssä virtsaa. Heti sen levityksen jälkeen suihkutettiin maan pinnalle eri suuria määriä tislattua vettä. Noin 0.5 mm sadetta vastaava vesimäärä piti ammoniakin haihtumisen aluksi aivan mitättömänä, mutta noin tunnin kuluttua haihtuminen jonkin verran vilkastui. 6 tunnin kuluessa hävisi kuitenkin ainoastaan 2 kg N/ha, jotavastoin ilman sadetusta hävisi muuten samoissa oloissa n. 9 kg N/ha. 2 mm tai sitä suuremman sateen jälkeen ei 6 ensimäisen tunnin kuluessa tullut mitattavia määriä ammoniakkia ilmaan. Kun tuuletusta ei jatkettu tämän kauemmin, ei voida sanoa, olisiko ammoniakkia myöhemmin kohonnut pintakerrokseen niin paljon, että merkittäviä typpimääriä olisi hävinnyt. Mutta luultavaa on, että > 2 mm sade vähentää joka tapauksessa ammoniakin haihtumisen niin pieneksi, ettei sillä ole käytännöllistä merkitystä edellyttäen, että maa on virtsan levityksen tapahtuessa ennestään tuore ja sen kostumisvastus pieni sekä reaktio heikosti hapan (pH n. 6). Sateen vaikutus perustuu todennäköisesti

toisaalta siihen, että varsinaisen haihtumispinnan NH_3-konsentratio pienenee ja toisaalta siihen, että vesi vie huomattavan osan NH_3:sta entistä syvemmälle maahan.

3. *Virtsan typen sitoutuminen turvepehkuun ja haihtuminen siitä.*

Tätä kysymystä koskevat tutkimukseni jakaantuivat kolmeen eri koesarjaan:

1. Aineiston valmistaminen haihdutuskokeita varten ja aineistoa koskevat valmistavat tutkimukset. Koe N:o 8.
2. Varsinaiset haihdutuskokeet. Koe N:o 9.
3. Tutkimukset virtsapehkun reaktion ja ammoniakin haihtumisnopeuden keskinäisistä suhteista. Koe N:o 10.

a) Virtsapehku-aineiston valmistus ja sitä koskevat valmistavat tutkimukset.

(Koe N:o 8).

Virtsapehkujen valmistukseen käytettiin viikon vanhaa virtsaa, joka valmistuspäivänä 30/8 1939 sisälsi:

ilman emäksen lisäystä tislautuvaa typpeä	6.24 ‰
MgO:lla » »	6.40 »
NaOH:lla » »	6.84 »
kokonais-typpeä	8.26 »

sekä hienoksi jauhettua turvepehkua, joka sisälsi:

kuiva-ainetta	871 ‰
hehkutuksessa poistuneita aineita	970 »
ilman emäksen lisäystä tislautuvaa typpeä	jälkiä
MgO:lla » »	0.11 ‰
NaOH:lla » »	1.02 »
kokonais-typpeä	8.42 »
pH 3.70	

Turvepehku oli vähän lahonnutta *Sph. fuscum*-turvetta, joukossa vähän *Eriophorum vaginátum*in ja hyvin vähän muiden suokasvien sekä männyn neulasten jäännöksiä.

Virtsa imeytettiin pehkuun seuraavasta yhdistelmästä selviävin suhtein, ja seokset sullottiin 20:een numeroituun, 2 l. vetoiseen lasipurkkiin. Kaikki purkit tulivat täyteen.

Purkit N:o	250 g pehkua = 218 g kuiva-ain. kohden imeytettiin virtsaa ccm	kaivovettä ccm	Näytteen koko paino kg
1 ja 1a	1 750	—	2.00
2 » 2a	1 500	—	1.75
3 » 3a	1 250	—	1.50
4 » 4a	1 000	—	1.25
5 » 5a	750	—	1.00
6 » 6a	500	—	0.75
7 » 7a	1 250	250	1.75
8 » 8a	1 000	500	1.75
9 » 9a	750	750	1.75
10 » 10a	500	1 000	1.75

Purkkeihin 7—10 ja 7a—10a pantiin siis virtsan lisäksi eri suhtein kaivovettä,[1]) joten nämät näytteet vesipitoisuuteen nähden osapuilleen vastasivat näytteitä 2 ja 2a, mutta tulivat typen suhteen laihemmiksi.

Kaikki purkit suljettiin ruuvikierukalla varustetulla peltikannella. Purkkien 1—10 kannet tiivistettiin sen lisäksi kumilla. Tämän jälkeen kaikki purkit säilytettiin lämmittämättömässä huoneessa (5—15° C) n. 2 kk., jonka jälkeen ne siirrettiin n. 20° C lämpöiseen huoneeseen, jossa olivat ennen analysointia koskemattomina 2—3 viikkoa.

Purkkeja avattaessa havaittiin:

Purkissa

1	voimakas	»lannan haju»,	vahvasti emäksinen (lakmus) [2])
1a	»	NH_3-haju,	» »
2	»	»sekahaju»,	» »
2a	»	NH_3-haju,	» »
3	»	»sekahaju»,	emäksinen
3a	pistävä	NH_3-haju	»
4	»	»	»
4a	»	»	»
5	heikko	»	heikommin emäksinen
5a	»	»	» »
6	hyvin heikko	NH_3-haju,	heikosti emäksinen
6a	»	»	» » »
7	voimakas	sekahaju,	emäksinen
7a	»	NH_3-haju,	»

[1]) Ks. aliviitta s. 37.

[2]) Tarkemman määräyksen suorittaminen ei tällöin vielä ollut välineiden puutteen vuoksi mahdollista.

8	kohtalainen	NH_3-haju,	emäksinen
8a	»	»	»
9	heikko	»	heikosti emäksinen
9a	»	»	» »
10	hyvin heikko NH_3-haju	»	»
10a	tuskin tuntuva	»	reaktio epäselvä

Hajuhavaintoihin nähden on huomattava, että ne tehtiin välittömästi purkin ensimäisen avaamisen jälkeen, jolloin haju voi olla ja usein onkin vallan toinen kuin hetken aikaa ilman vaikutuksen alaisena olleen näytteen. Niinpä nekin purkit, joissa ei aluksi ollut juuri nimeksikään NH_3:n hajua, haisivat hetkistä myöhemmin varsin voimakkaasti ammoniakilta.

Tiivistetyissä purkeissa säilytettyjen näytteiden kokonaispainot eivät vähentyneet säilytyksen aikana niin paljoa, että muutoksen olisi voinut todeta 1 g tarkkuudella näyttävän vaa'an avulla. Ilman kumitiivistettä olleiden purkkien (a-ryhmä) paino väheni 2—4 g.

Näytteiden alunperin sisältämät typpimäärät (tot.) laskin suoraan raaka-aineiden analyysitulosten mukaan. Tulokset on koottu taulukkoon VIII, s. 62. Säilytys-ajan (n. 2½ kk.) päätyttyä määrättiin kaikista näytteistä paitsi kokonais-typpeä myöskin ilman emäksen lisäystä, MgO- ja NaOH-lisäyksellä ammoniakkina tislautunut typpi. Täten saadut N-määrät (‰) näkyvät taulukossa IX, s. 62.

Taulukko X, s. 63 käsittää tilaston typen olotilan muutoksista sellaisena kuin tämä selviää eri voimakkaita tislauskeinoja käytettäessä. Tästä tilastosta ilmenee m. m., että ilman emäksen lisäystä tislautuva typpimäärä on säilytyksen aikana lisääntynyt väkevimmissä (virtsarikkaimmissa) näytteissä useita (3.0—12.7) prosentteja. Tiiviillä kannella suljetuissa purkeissa tämä lisäys oli suurempi kuin hataralla kannella (a-ryhmä) suljetuissa. Laihimmissa (s. o. pehkurikkaissa) näytteissä helposti haihtuva typpi väheni, eräissä tapauksissa 45—60 %. Typen häviötä tämä vähennys ei kuitenkaan merkinnyt muuta kuin osaksi, sillä lähimain vastaava typpimäärä on vain siirtynyt vaikeammin haihtuvaan muotoon. Niinpä lisääntyikin MgO:lla tislautuva typpi 12.6—26.3 % kaikissa muissa paitsi näytteissä 8 ja 10, joissa sekin väheni 17.7 ja 9.6 %. Tiiviissä purkeissa MgO:llakin tislautuva typpi lisääntyi yleensä jonkin verran enemmän kuin hatarissa.

NaOH:lla tislautuva typpi lisääntyi kaikissa tapauksissa 5.4—25.3 prosentilla, siis sekä suhteellisesti että totaalisesti jonkin verran vähemmän kuin MgO:lla tislautuva. Selvän poikkeuksen tässä suh-

Taulukko VIII. *Vaihtelevin turve-virtsa-suhtein säilytetyt virtsapehkunäytteet sisälsivät alunperin kaikkiaan g N.*

Tabelle VIII. *Insgesamt enthielten die in variierenden Torf-Jauche-Verhältnissen aufbewahrten Jauchetorfproben g N.*

Vert. s. 60. — *Vgl. S. 60.*

Virtsapehku *Jauchetorf* Nr	Ilman emäksen lisäystä tislautuvaa *Ohne Laugezusatz destill.*	MgO:lla tisl. *Mit MgO dest.*			NaOH:lla tisl. *Mit NaOH dest.*			Kokonaistyppi *Gesamtstickstoff*		
		Turpeessa *Im Torfe*	Virtsassa *In der Jauche*	Kaikkiaan *Insgesamt*	Turpeessa *Im Torfe*	Virtsassa *In der Jauche*	Kaikkiaan *Insgesamt*	Turpeessa *Im Torfe*	Virtsassa *In der Jauche*	Kaikkiaan *Insgesamt*
1— 1 a	10.92	0.03	11.20	11.23	0.26	11.97	12.23	2.10	14.45	16.55
2— 2 a	9.36	0.03	9.60	9.63	0.26	10.26	10.52	2.10	12.39	14.49
3— 3 a	7.80	0.03	8.00	8.03	0.26	8.55	8.81	2.10	10.33	12.43
4— 4 a	6.24	0.03	6.40	6.43	0.26	6.84	7.10	2.10	8.26	10.36
5— 5 a	4.68	0.03	4.80	4.83	0.26	5.13	5.39	2.10	6.20	8.30
6— 6 a	3.12	0.03	3.20	3.23	0.26	3.42	3.68	2.10	4.13	6.23
7— 7 a	7.80	0.03	8.00	8.03	0.26	8.55	8.81	2.10	10.33	12.43
8— 8 a	6.24	0.03	6.40	6.43	0.26	6.84	7.10	2.10	8.26	10.36
9— 9 a	4.68	0.03	4.80	4.83	0.26	5.13	5.39	2.10	6.20	8.30
10—10 a	3.12	0.03	3.20	3.23	0.26	3.42	3.68	2.10	4.13	6.23

Taulukko IX. *2 ½ kuukautta kestäneen säilytyksen jälkeen virtsapehkunäytteet sisälsivät typpeä ‰.*

Tabelle IX. *Nach 2 ½ monatl. Aufbewahrung enthielten die Jauchetorfproben an Stickstoff ‰.*

Vert. s. 37 ja taul VIII. — *Vgl. S. 37 u. Tab. VIII.*

Virtsapehku *Jauchetorf* Nr	Ilman emäksen lisäystä tislautuvaa *Ohne Laugezusatz dest.*	MgO:lla tislautuvaa *Mit MgO dest.*	NaOH:lla tislautuvaa *Mit NaOH dest.*	Kokonaistyppi *Gesamtstickstoff*
1	5.99	6.55	6.87	8.30
1 a	5.79	6.46	6.62	8.06
2	5.99	6.41	6.76	8.17
2 a	5.72	6.19	6.48	8.00
3	5.86	6.31	6.51	8.08
3 a	5.48	6.05	6.27	7.92
4	5.14	6.05	6.20	8.22
4 a	4.94	5.78	6.15	8.06
5	4.55	5.57	6.11	8.41
5 a	4.25	5.45	5.68	8.22
6	2.87	5.10	5.43	8.20
6 a	2.79	5.02	5.24	7.99
7	4.80	5.48	5.61	7.13
7 a	4.88	5.38	5.61	6.99
8	3.84	4.38	5.59	5.87
8 a	1.95	3.02	4.48	5.55
9	2.15	3.11	3.57	4.65
9 a	2.25	3.19	3.45	4.44
10	1.63	2.33	2.48	3.56
10 a	0.66	1.67	2.06	3.31

Taulukko X. *Alunperin ja 2 ½ kuukautta kestäneen säilytyksen jälkeen haihdutuskokeisiin käytetyt virtsapehkut sisälsivät typpeä.*

Tabelle X. *Stickstoffgehalt der zu den Verdunstungsversuchen angewandten Jauchetorfe anfänglich und nach 2 ½ monatl. Aufbewahrung.*

Vert. m. m. taul. XII ja kuva 13, s. 66. — *Vgl. z. B. Tabelle XII und Abb. 13, S. 66.*

Virtsapehku *Jauchetorf*	Ilman emäksen lisäystä tislautuvaa *Ohne Laugezusatz destill.*				MgO:lla tislautuvaa *Mit MgO destill.*				NaOH:lla tislautuvaa *Mit NaOH destill.*				Kokonais-typpi *Gesamtstickstoff*			
	Alussa *Zu Beginn*	2 ½ kk. kuluttua *Nach 2 ½ Monaten*	Häviö *Verlust*		Alussa *Zu Beginn*	2 ½ kk. kuluttua *Nach 2 ½ Monaten*	Häviö *Verlust*		Alussa *Zu Beginn*	2 ½ kk. kuluttua *Nach 2 ½ Monaten*	Häviö *Verlust*		Alussa *Zu Beginn*	2 ½ kk. kuluttua *Nach 2 ½ Monaten*	Häviö *Verlust*	
Nr	g	g	g	%	g	g	g	%	g	g	g	%	g	g	g	%
1	10.92	11.98	+1.06	+9.7	11.23	13.10	+1.87	+16.6	12.23	13.74	+1.51	+12.3	16.55	16.60	+0.05	+0.3
1 a	10.92	11.58	+0.66	+6.0	11.23	12.92	+1.69	+15.0	12.23	13.24	+1.01	+8.3	16.55	16.12	—0.43	—2.6
2	9.36	10.48	+1.12	+12.0	9.63	11.22	+1.59	+16.5	10.52	11.83	+1.31	+12.5	14.49	14.30	—0.19	—1.3
2 a	9.36	10.01	+0.65	+6.9	9.63	10.83	+1.20	+12.5	10.52	11.34	+0,82	+7.8	14.49	14.00	—0.49	—3.4
3	7.80	8.79	+0.99	+12.7	8.03	9.47	+1.44	+17.9	8.81	9.77	+0.96	+10.9	12.43	12.12	—0.31	—2.5
3 a	7.80	8.22	+0.42	+5.4	8.03	9.08	+1.05	+13.1	8.81	9.41	+0.60	+6.8	12.43	11.88	—0.55	—4.4
4	6.24	6.43	+0.19	+3.0	6.43	7.56	+1.13	+17.6	7.10	7.75	+0.65	+9.2	10.36	10.28	—0.08	—0.8
4 a	6.24	6.18	—0.06	—1.0	6.43	7.23	+0.80	+12.4	7.10	7.69	+0.59	+8.3	10.36	10.08	—0.28	—2.7
5	4.68	4.55	—0.13	—2.8	4.83	5.57	+0.74	+15.3	5.39	6.11	+0.72	+13.4	8.30	8.41	+0.11	+1.3
5 a	4.68	4.25	—0.43	—9.2	4.83	5.45	+0.62	+12.8	5.39	5.68	+0.29	+5.4	8.30	8.22	0.08	0.9
6	3.12	2.15	—0.97	—31.1	3.23	3.83	+0.60	+18.6	3.68	4.07	+0.39	+10.6	6.23	6.16	—0.07	—1.1
6 a	3.12	2.09	—1.03	33.0	3.23	3.77	+0.54	+16.7	3.68	3.93	+0.25	+6.8	6.23	5.99	0.24	—3.9
7	7.80	8.40	+0.60	+7.7	8.03	9.59	+1.56	+19.4	8.81	9.82	+1.01	+11.5	12.43	12.48	+0.05	+0.4
7 a	7.80	8.54	+0.74	+9.5	8.03	9.42	+1.39	+17.3	8.81	9.82	+1.01	+11.5	12.43	12.23	—0.20	—1.3
8	6.24	6.72	+0.48	+7.7	6.43	7.67	+1.24	+19.3	7.10	8.02	+0.93	+13.1	10.36	10.27	—0.09	—0.9
8 a	6.24	3.41	2.83	45.4	6.43	5.29	—1.14	17.7	7.10	7.84	+0.74	+10.4	10.36	9.71	—0.65	6.3
9	4.68	3.76	—0.92	—19.6	4.83	5.44	+0.64	+12.6	5.39	6.25	+0.86	+16.0	8.30	8.14	—0.16	—1.9
9 a	4.68	3.94	—0.74	—15.8	4.83	5.58	+0.75	+15.5	5.39	6.04	+0.65	+12.1	8.30	7.77	—0.53	—6.4
10	3.12	2.85	—0.27	—8.7	3.23	4.08	+0.85	+26.3	3.68	4.34	+0.66	+17.0	6.23	6.23	—0.00	—0.0
10 a	3.12	1.16	—1.96	—62.8	3.23	2.92	—0.31	—9.6	3.68	3.61	+0.93	+25.3	6.23	5.79	—0.44	—7.1

Taulukko XI. *Alunperin ja 2 ½ kuukautta kestäneen säilytyksen jälkeen haihdutuskokeisiin käytetyt virtsapehkut sisälsivät typpeä turpeen kuiva-ainekiloa kohden.*

Tabelle XI. *Anfänglich und nach 2 ½ monatl. Aufbewahrung enthielten die zu den Verdunstungsversuchen angewandten Jauchetorfe an Stickstoff je kg Torftrockensubstanz.*

Vert. kuva 15, s. 71. — *Vgl. Abb. 15, S. 71.*

Virtsapehku *Jauchetorf*	Ilman emäksen ilisäystä tislautuvaa *Ohne Laugezusatz destill.*			MgO:lla tislautuvaa *Mit MgO destill.*			NaOH:lla tislautuvaa *Mit NaOH destill.*			Kokonaistyppi *Gesamtstickstoff*		
	Alussa *Zu Beginn*	2 ½ kk. kuluttua *Nach 2 ½ Monaten*	Eroitus *Differenz*	Alussa *Zu Beginn*	2 ½ kk. kuluttua *Nach 2 ½ Monaten*	Eroitus *Differenz*	Alussa *Zu Beginn*	2 ½ kk. kuluttua *Nach 2 ½ Monaten*	Eroitus *Differenz*	Alussa *Zu Beginn*	2 ½ kk. kuluttua *Nach 2 ½ Monaten*	Eroitus *Differenz*
N:o	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
1	50.1	55.0	+4.9	51.5	60.1	+8.6	56.1	63.0	+6.9	75.9	76.1	+0.2
1 a	50.1	53.1	+3.0	51.5	59.3	+7.8	56.1	60.7	+4.6	75.9	73.9	—2.0
2	42.9	48.1	+5.2	44.2	51.4	+7.2	48.3	54.3	+6.0	66.5	65.6	—0.9
2 a	42.9	45.9	+3.0	44.2	49.7	+5.5	48.3	52.0	+3.7	66.5	64.2	—2.3
3	35.8	40.3	+4.5	36.7	43.4	+6.7	40.4	44.8	+4.4	57.0	55.6	—1.4
3.a	35.8	37.7	+1.9	36.7	41.7	+5.0	40.4	43.2	+2.8	57.0	54.4	—1.6
4	28.6	29.5	+0.9	29.4	34.7	+5.3	32.6	35.6	+3.0	47.5	47.2	—0.3
4 a	28.6	28.3	—0.3	29.4	33.2	+3.8	32.6	35.3	+2.7	47.5	46.2	—1.3
5	21.5	20.9	—0.6	22.0	25.6	+3.6	24.7	28.0	+3.3	38.1	38.6	+0.5
5 a	21.5	19.5	—2.0	22.0	25.0	+3.0	24.7	26.1	+1.4	38.1	37.7	—0.4
6	14.3	9.9	—4.4	14.7	17.6	+2.9	16.9	18.7	+1.8	28.6	28.3	—0.3
6 a	14.3	9.6	—4.7	14.7	17.3	+2.6	16.9	18.0	+1.1	28.6	27.5	—1.1
7	35.8	38.5	+2.7	36.7	44.0	+7.3	40.4	45.0	+4.6	57.0	57.2	+0.2
7 a	35.8	39.2	+3.4	36.7	43.2	+6.5	40.4	45.0	+4.6	57.0	57.0	—0.0
8	28.6	30.8	+2.2	29.4	35.2	+5.8	32.6	36.9	+4.3	47.5	47.1	—0.4
8 a	28.6	15.6	—13.0	29.4	24.3	—4.9	32.6	36.0	+3.4	47.5	44.5	—3.0
9	21.5	17.2	—4.3	22.0	25.0	+3.0	24.7	28.7	+4.0	38.1	37.3	—0.8
9 a	21.5	18.1	— 3.4	22.0	25.6	+3.6	24.7	27.7	+ 3.0	38.1	35.6	—2.5
10	14.3	13.1	— 1.2	14.7	18.7	+4.0	16.9	19.9	- 3.0	28.6	28.6	—0.0
10 a	14.3	5.1	—9.2	14.7	13.4	—1.3	16.9	16.6	—0.3	28.6	26.6	—2.0

teessa muodostaa näyte 10a, jonka helposti haihtuva typpi »siirtyi» suoraan »NaOH-ryhmään».

Kokonaistyppimäärä pysyi tiiviissä purkeissa käytännöllisesti katsoen muuttumattomana, jotavastoin se väheni hatarissa purkeissa, maksimitapauksessa 7.1 %. NaOH:lla tislautuvan typen lisääntymisestä samaan aikaan kun typen kokonaismäärä pysyi suurin piirtein muuttumattomana seuraa, että tislautumaton typpi väheni säilytyksen aikana kaikista näytteistä. Kokeistani ei selviä, missä määrin NaOH:lla tislautuvan typen lisäys on peräisin virtsasta ja missä määrin turpeesta.

Kokonais-typen säilymiseen ei virtsan ja turpeen painosuhteilla ollut mitään selvää vaikutusta näissä olosuhteissa, joissa typellä ei yleensä ollut poistumisen tilaisuutta.

Alkuperäiset ja säilytyksen jälkeen havaitut typpimäärät kuiva-ainekiloa kohden sekä tässä suhteessa säilytyksen aikana tapahtuneet muutokset esitetään taulukossa XI, s. 64.

b) Virtsapehkulla suoritetut haihdutuskokeet.

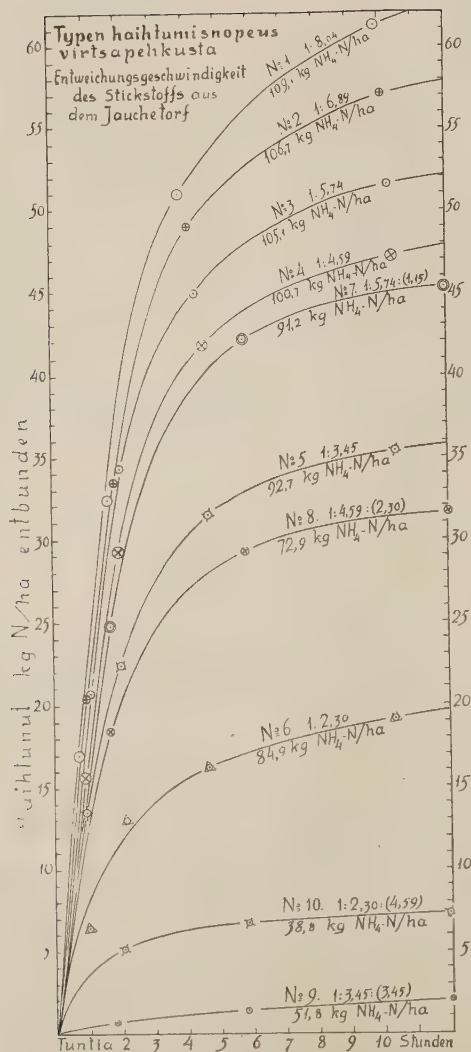
(Koe N:o 9).

Kokeet suoritin syksyllä 1939 edellä mainituilla virtsapehkuilla N:o 1—10 (ks. s. 60). Alunperin oli aikomukseni suorittaa rinnakkaiskokeet myöskin a-ryhmän (s. 60) näytteillä, mutta sota muutti suunnitelmat.

Kutakin virtsapehkua levitettiin haihdutus-astioihin tuoreen savimaan pinnalle annos, joka vastasi 16.65 ton/ha. Haihdutus toimitettiin tavalliseen tapaan, aika-ajoin keskeyttäen aina siihen mennessä haihtuneen typpimäärän toteamista varten.

Haihtumisen kulku näkyy taulukosta XII, s. 67 sekä piirroksesta, kuva 13. Haihtumista kuvaavat käyrät osoittavat haihtumisen tapahtuneen lihavimmista virtsapehkuista aluksi melkein tasaisella ja hyvin suurella nopeudella, jopa 23 kg N/ha ensimäisen tunnin aikana. Laihimpien näytteiden käyrät taipuvat jo alusta lähtien oikealle päin, mutta lihavimmissa haihtumisen hidastuminen alkaa tuntua voimakkaasti vasta 2—4 tuntia lannan levityksen jälkeen.

Haihtuminen oli yleensä sitä nopeampaa, mitä väljempi oli suhde $\frac{\text{virtsa}}{\text{pehku}}$ ja mitä suurempi sen mukaan pehkun kuiva-ainekiloa kohden annettu NH_4^+-N-määrä. Taulukossa X (s. 63) esitettyjen tietojen



Kuva 13. Ammoniakin haihtumisen kulku kostean savimaan pinnalle levitetystä virtsapehkusta. Käyrien yläpuolella olevat suhdeluvut = turve : virtsa : (vesi). Vert. taul. X—XIII.

Abb. 13. Verlauf der Entweichung von Ammoniak aus Jauchetorf, auf feuchten Tonboden gebracht.. Zahlen oberhalb der Kurven = Torf : Jauche : (Wasser). Vgl. Tab. X—XIII.

Taulukko XII. *Ammoniakin haihtuminen kostealle savimaalle levitetystä virtsapehkusta, 16.65 ton/ha.*

Tabelle XII. *Verlauf der Ammoniakentweichung aus Jauchetorf, auf feuchten Tonboden ausgebreitet, 16.65 ton/ha.*

Lämpötila 19—20°C *Temperatur.*

Vert. kuv. 13—15. — *Vgl. Abb. 13—15.*

Virtsapehku *Jauchetorf* Nr	Halle annettu *Ausgebreitet je ha* NH_4^+-N kg	Haihtunut ha:lta — *Entwichen je ha*											
		Aika t. *Zeit St* [1]	kg N	Aika t. *Zeit St* [1]	kg N	Aika t. *Zeit St* [1]	kg N	Aika t. *Zeit St* [1]	kg N	Aika t. *Zeit St* [1]	kg N	Aika t. *Zeit St* [1]	kg N
1	109.1	0.70	16.89	1.65	32.43	3.89	51.02	9.89	61.23	15.5	63.26 ± 1.32	20.7	64.6 ± 1.43
2	106.7	0.94	20.77	1.82	33.55	4.11	49.04	10.07	57.13	15.6	58.74 ± 2.77	20.8	59.5 ± 2.87
3	105.1	1.08	20.77	2.00	34.42	4.33	44.97	10.24	51.62	15.8	52.71 ± 1.30	20.6	53.7 ± 1.18
4	100.7	0.87	15.78	1.98	29.33	4.58	41.85	10.38	47.30	16.0	49.84 ± 0.93	—	— —
5	92.7	0.92	13.48	2.04	22.40	4.68	31.56	10.44	35.43	16.1	37.56 ± 1.15	—	— —
6	84.9	1.02	6.49	2.14	12.95	4.68	16.15	10.37	19.09	16.1	21.00 ± 1.25	—	— —
7	91.2	—	—	1.65	24.81	5.81	42.20	12.18	45.33	17.6	47.10 ± 2.35	—	— —
8	72.9	—	—	1.70	18.43	5.85	29.24	12.18	31.62	17.5	32.94 ± 1.83	—	— —
9	51.8	—	—	1.80	0.64	5.80	1.39	12.11	2.06	17.4	2.88 ± 0.36	—	— —
10	38.8	—	—	2.07	5.13	5.85	6.66	12.17	7.46	17.3	8.19 ± 0.63	—	— —

[1]) Kokeen alusta — *Vom Aufang des Versuches.*

Taulukko XIII. *Ammoniakin haihtumisen vuoksi 4 ja 10 tunnin kuluessa syntyneet typen häviöt tuoreelle savimaalle levitetystä virtsapehkusta.*

Tabelle XIII. *Verluste an Stickstoff im Verlaufe von 4 und 10 Stunden durch Ammoniakentweichung aus Jauchetorf, auf feuchten Tonboden ausgebreitet.*

Vert. kuvia 14 ja 15, s. 70—71. — *Vgl. Abb. 14 u. 15, S. 70—71.*

Virtsapehku *Jauchetorf*	Turpeen kuiva-ainetta pro ha *Torftrockensubstanz*	Kokonaistyppi — *Gesamtstickstoff*				NH_4^+-N			
		Alunperin pro ha *Am Anfang*	Haihtui 4 (10) tunnissa *Verdunstet im Verlaufe von 4 (10) Stunden*	Jäljellä 4 (10) tunnin kuluttua *Nach 4 (10) stünd. Lüftung übergeblieben je ha*	Jäljellä turpeen kuiva-ainekiloa kohden 4 (10) t. kuluttua *Je kg Torftr.substanz nach 4 (10) Stunden*	Alunperin pro ha *Am Anfang*	Haihtui 4 (10) tunnissa *Verdunstet im Verlaufe von 4 (10) Stunden*	Jäljellä 4 (10) tunnin kuluttua *Nach 4 (10) stünd. Lüftung übergeblieben je ha*	Jäljellä turpeen kuiva-ainekiloa kohden 4 (10) t. kuluttua *Je kg Torftr.substanz nach 4 (10) Stunden*
Nr	kg	kg	kg	kg	g	kg	kg	kg	g
1	1 799	138.2 ÷	51.4 (61.3) =	86.8 (76.9)	48.2 (42.7)	109.1 ÷	51.4 (61.3) =	57.7 (47.8)	32.1 (26.6)
2	2 055	136.0 ÷	48.5 (57.0) =	87.5 (79.0)	42.6 (38.4)	106.7 ÷	48.5 (57.0) =	58.2 (49.7)	28.3 (24.2)
3	2 398	134.5 ÷	44.0 (51.4) =	90.5 (83.1)	37.7 (34.7)	105.1 ÷	44.0 (51.4) =	61.1 (53.7)	25.5 (22.4)
4	2 878	136.9 ÷	40.5 (47.1) =	96.4 (89.8)	33.5 (31.2)	100.7 ÷	40.5 (47.1) =	60.2 (53.6)	20.9 (18.6)
5	3 597	140.0 ÷	30.2 (35.3) =	109.8 (104.7)	30.5 (29.1)	92.7 ÷	30.2 (35.3) =	62.5 (57.4)	17.4 (16.0)
6	4 796	136.7 ÷	15.5 (19.0) =	121.2 (117.7)	25.3 (24.5)	84.9 ÷	15.5 (19.0) =	69.4 (65.9)	14.5 (13.7)
7	2 055	118.7 ÷	39.1 (43.5) =	89.6 (75.2)	43.6 (36.6)	91.2 ÷	39.1 (43.5) =	52.1 (47.7)	25.4 (23.2)
8	2 055	97.7 ÷	26.7 (31.1) =	71.0 (66.6)	34.5 (32.4)	72.9 ÷	26.7 (31.1) =	46.2 (41.8)	22.5 (20.3)
9	2 055	77.4 ÷	1.1 (1.8) =	76.3 (75.6)	37.1 (36.8)	51.8 ÷	1.1 (1.8) =	50.7 (50.0)	24.7 (24.3)
10	2 055	59.3 ÷	6.2 (7.2) =	53.1 (52.1)	25.8 (25.4)	38.8 ÷	6.2 (7.2) =	32.6 (31.6)	15.9 (15.4)

perusteella voidaan laskea, että eri näytteet sisälsivät levityshetkellä kuiva-ainekiloa kohden seuraavat määrät NH_4^+-N:ä:

Laimentamattomat		Vedellä laimennetut	
N:o	g NH_4^+-N	N:o	g NH_4^+-N
1	60.1	—	—
2	51.5	—	—
3	43.5	7	44.0
4	34.7	8	35.2
5	25.6	9	25.0
6	17.6	10	18.7

Näytteiden 1—6 haihtumiskäyrät ovat kuvassa (13) poikkeuksetta samassa järjestyksessä kuin vastaavat luvut yllä. Sama on asianlaita myöskin laimennettuihin näytteisiin 7—10 nähden, kuitenkin sillä poikkeuksella, että numerot 9 ja 10 ovat vaihtaneet paikkaa käyrästössä, sillä näytteen 9 haihtuminen on ilmeisesti jostain erikoissyystä muodostunut odottamattoman vähäiseksi. Mikä tämän on aiheuttanut, ei ole tiedossa.[1]) Taulukosta X (s. 63) selviää kuitenkin eräs, tämän kysymyksen kanssa todennäköisesti syyyhteydessä oleva seikka: Ilman emäksen lisäystä tislautuvan typen määrä oli säilytyksen aikana alentunut 19.6 % näytteessä N:o 9, mutta näytteessä N:o 10 ainoastaan 8.7 %.[2]) Purkissa N:o 9 tavattiin myöskin nitraattityppeä joltinenkin määrä, 0.08 %; näytteissä N:o 7, 8, 10 ainoastaan jälkiä. Muista näytteistä ei NO_3-typpeä määrättykään.

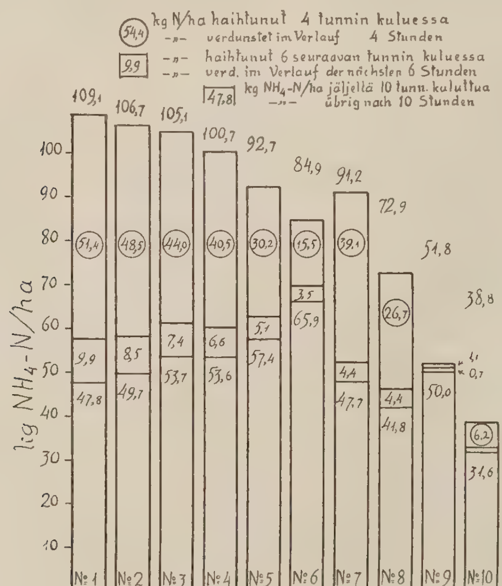
Yllä olevaan yhdistelmään on samoille riveille merkitty ne näyteparit, joissa suhde $\frac{\text{virtsa}}{\text{pehku}}$ oli sama, ja joissa näin ollen oli myös suunnilleen samat määrät NH_4-N:ä turpeen kuiva-ainekiloa kohden. Kuvasta (13) s. 66 voi huomata, että vedellä laimennettuja näytteitä (7—10) edustavat käyrät osoittavat melkoisesti pienempiä haihtumisarvoja kuin vastaavien laimentamattomien lantojen käyrät. (Vert. toisiinsa N:o 7 → 3, N:o 8 → 4, N:o 9 → 5 ja N:o 10 → 6).

Haihtumiskäyrien avulla on helppo arvioida hehtaarilta esim. 4 tai 10 tunnin kuluessa haihtuneet typpimäärät. Vähentäen ne vastaavista hehtaarin annoksista, merkitsevät näin saadut jäännök-

[1]) Otaksua voisi, että näytteen N:o 9 vetyionikonsentratio oli jostain lähemmin tuntemattomasta syystä kohonnut. Kuten jo ennen on mainittu, ei riittävän tarkkoja reaktioluvun määräyksiä voitu tällöin vielä toimittaa.

[2]) Kuten aikaisemmasta selostuksesta selvisi, ei tämä vähentyminen merkinnyt typen katoa, vaan ainoastaan muuttumista vaikeammin haihtuvaan muotoon.

set typpimääriä, jotka jäävät maahan edellyttäen, että riittävän tehokas multaus toimitetaan 4 tai 10 tuntia levityksen jälkeen. Näiden vähennyslaskujen tulokset on esitetty taulukossa XIII, s. 68 sekä myöskin graafisesti (kuva 14). Virtsapehkuja 1—6 esittäviä patsaita (kuva 14) tarkastaessa huomaa, etteivät maahan jääneet typpimäärät ole ollenkaan suorassa suhteessa annettuihin määriin. Päinvastoin maahan jääneet määrät säännöllisesti suurenevat sa-

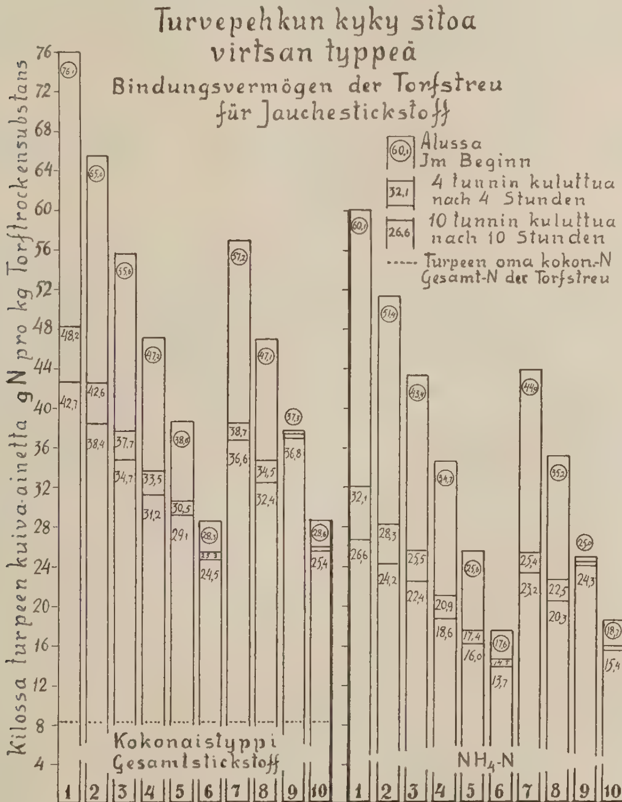


Kuva 14. Ammoniakin haihtumisen vuoksi 4 ja 10 tunnin kuluessa syntyneet typen häviöt tuoreelle savimaalle levitetyistä virtsapehkunäytteistä. Vert. taulukko XIII, s. .
Abb. 14. Verluste an Stickstoff im Verlaufe von 4 und 10 Stunden durch Ammoniakentweichung aus Jauchetorfproben, auf feuchten Tonboden gebracht. Vgl. Tabelle XIII, S. .

massa järjestyksessä kuin annetut määrät pienenevät. Lannassa N:o 9 annettiin ainoastaan vajaat puolet lannoissa N:o 1 tai N:o 2 annetuista NH_4^+-N-määristä, ja kuitenkin oli N:o 9:ssä 10 tunnin kuluttua jäljellä enemmän NH_4^+-N:ä kuin näissä toisissa.

Syynä niin erilaisiin typen häviöihin ja haihtumisnopeuksiin kuin edellä on esitetty, ei hevin voida pitää muuta kuin erilaisten $\frac{\text{virtsa}}{\text{pehku}}$-suhteiden erilaista vaikutusta niihin tekijöihin, joista haihtumis-

nopeus riippuu. Edellä s. 69 olevan yhdistelmän mukaan oli esim. lannassa 1. levityshetkellä n. 3.4 kertaa niin paljon NH_4^+-N:ä pro kg kuiva-ainetta kuin lannassa 6., lannassa 2. n. 2,9 kertaa niin paljon jne. Taulukon XIII, s. 68 oikeanpuolisista sarekkeista



Kuva 15. Turvepehkun kyky sitoa virtsan typpeä.
Abb. 15. Bindungsvermögen der Torfstreu für Jauchestickstoff.

sekä kuvasta (15) ilmenee, että nämät erot pienenevät haihdutuksen kuluessa verraten nopeasti. Niinpä lannassa 1. oli 10 tunnin kuluttua jäljellä vain n. 2 kertaa niin paljon NH_4^+-N:ä/kg kuiva-ainetta kuin lannassa 6. Ellei multausta olisi ollenkaan toimitettu, olisi kaikkien näytteiden NH_4^+-N-pitoisuus ilmeisesti vähitellen alentunut suunnilleen samalle tasolle. Piirroksen (kuva 15) avulla on

helppo arvioida, että tämä tasaantuminen olisi tapahtunut NH_4^+-N-määrien alennuttua kaikissa näytteissä 10—12 g vaiheille turpeen kuiva-ainekiloa kohden. Todennäköisesti olisi typpimäärä vähitellen alentunut vielä tästäkin. Mutta mitä levitettynä olevalle lannalle ajanmittaan tapahtuu, ei erikoisemmin kiinnosta tässä yhteydessä, sillä multauksen toimittamisen pitäisi olla mahdollista viimeistään 10 tunnin kuluessa, vieläpä paljon pikemminkin.

c) Ammoniakin haihtumisen muodossa tapahtuvan typen häviön suhde virtsapehkun reaktioon.

(Koe N:o 10).

Kun edellisiä kokeita suorittaessani ei ollut käytettävissäni soveliaita välineitä näytteiden reaktion mittaamiseksi, jäi kaikkiin edellä selostettuihin kokeisiin nähden tässä suhteessa aukko. Sen vuoksi kun syksyllä 1940 onnistuin saamaan pH-asteen määräämiseen hyvin käyttökelpoisen kojeen, alotin edellisten kokeiden täydentämiseksi uuden koesarjan, jonka lähimpänä tarkoituksena oli selvittää virtsapehkun vetyionikonsentration ja typen (ammoniakin) haihtumisnopeuden keskinäistä suhdetta.

Kokeita varten valmistin 4 erilaista virtsapehkua. Nämät koetin tehdä samoja lähtöaineita käyttäen sellaisiksi, että kuiva-ainemäärät olisivat suurin piirtein samat, mutta NH_4^+-N- ja vetyioniväkevyydet eroaisivat toisistaan mahdollisimman paljon. Kun tarkoitus oli tutkia nimenomaan turpeen omien (sekä lannassa muodostuvien) happojen vaikutusta, ei näytteiden hapotukseen voitu käyttää vahvoja mineralihappoja, vaan yksinomaan turvetta. Tämän vuoksi kaikkien mainittujen ehtojen saman aikainen toteuttaminen tuotti melkoisia vaikeuksia, varsinkin kun vielä oli tärkeätä, että lantojen eri ominaisuudet pysyivät kokeiden suoritusajan mahdollisimman konstantteina. Aivan täydelleen en onnistunutkaan pyrkimyksessäni lantojen laadun suhteen, mikä ilmenee m. m. siinä, että happamimman lannan kuiva-ainepitoisuus tuli huomattavasti muita suuremmaksi. (Vert. myös s. 87). Virtsapehkut valmistettiin muita tarkoituksia varten n. 2 kk. ajan huonelämmössä säilytetyistä erilaisista virtsapehkuista sekoittamalla niitä keskenään eri suhteissa.

Valmistamani lannat säilytin kokeiden ajan kumitiivistein suljetuissa lasipurkeissa. Niistä otin kuhunkin osakokeeseen tarvitun näytteen tarkoitusta varten valmistamallani kairalla, jolla näytteet saatiin tasaisesti koko lantakerroksesta. Kunkin purkin jouduin

avaamaan kokeiden kuluessa näytteiden ottoa varten 10—15 kertaa. Näytteiden kulloinkin tultua otetuksi jäljelle jäänyt lanta painettiin tiiviiksi ja purkki suljettiin lujasti.

Kokeiden alkaessa lannat sisälsivät (vert. myös taul. XIX, s. 82):

N:o	Kuiva-ainetta %	NH_4^+-N ‰	pH-arvo alkuarvo	pH-arvo korkein havaittu arvo
1 [1])	15.7	3.65	7.84	8.40
2	15.6	3.00	7.81	8.21
3	14.7	2.35	7.44	8.11
4	21.0	3.12	7.18	7.23

Reaktioluvuista on yllä esitetty 2 erilaista arvoa. »Alku-arvo» määrättiin siten, että näyte puurotettiin heti kun se oli otettu umpinaisesta säiliöstä. »Korkein havaittu arvo» tarkoittaa tuuletuksen aikana huomattua korkeinta pH-astetta. Alku-pH osoittautui hyvin epävakaiseksi. Se riippui paljon siitä, kuinka nopeasti ehti kyllästyttää vedellä näytteen sen jälkeen kun se oli säiliöstä otettu. Sen jälkeen kun vettä oli lisätty näytteeseen, sain yleensä hyvin yhtäpitävät pH-luvut, toimitinpa määräyksen muutamaa minuttia aikaisemmin tai myöhemmin. Näytteen pitäminen koelasissa »kuivana» vaikutti sen sijaan huomattavasti tulokseen. Sillä näytteen tultua otetuksi umpinaisesta säiliöstä pois alkoi sen vetyionikonsentratio laskea, aluksi hyvin nopeasti, myöhemmin hitaammin, saavuttaen minimin (korkeimman pH-luvun) n. 1/2 tunnin kuluttua. Tämä selviää m. m. seuraavasta apukokeesta, jossa annoin säilöpurkeista otettujen pikkunäytteiden olla koelaseissa eri pitkiä aikoja ennen veden lisäystä.

	Havaittu pH
Vesi lisätty heti näytteen oton jälkeen	8.03
Näyte koelasissa kuivana 6 min.	8.30
» » » 11 »	8.44
» » » 18 »	8.52
» » » 24 »	8.56
» » » 30 »	8.56

En ole tarkemmin tutkinut, mistä pH-luvun nousu johtui. Mutta on otaksuttavissa, että tiiviissä säiliössä vallitseva korkea hiilihapon paine pitää vetyionikonsentration korkeana. Mutta kun ulkopuoli-

[1]) Vaikka virtsapehkut onkin merkitty tässä samoilla numeroilla kuin edellisissä kokeissa, on kysymys kuitenkin aivan eri lannoista.

nen paine säiliön kantta avattaessa ja näytettä otettaessa alenee, poistuu hiilihappo lannasta hyvin nopeasti, esim. pH 8 vaiheilla paljon nopeammin kuin ammoniakki, koska hiilidioksidin haihtuvaisuus tässä reaktiossa on monin verroin suurempi kuin ammoniakin. (Vert. esim. EGNÉR, s. 13). Jonkin ajan kuluttua hiilihapon ja ammoniakin haihtumisnopeudet saavuttavat tasapainon, jolloin reaktioluvun suureneminen pysähtyy, ja jonka jälkeen ammoniakin haihtuminen alkaa vähitellen vaikuttaa vetyionikonsentration suurenemiseen. (Vert. esim. TOVBORG-JENSEN, 1938, s. 178).

Haihdutuskokeet

suoritin käyttäen haihdutusastioina lasipurkkeja (kuva 1, oikealla, s. 37), joista tuuletetun näytteen sai puhtaana pH-luvun määräämistä varten. Sensijaan, että kaikissa edellisissä kokeissa haihtuminen mitattiin jatkuvasti samoista näytteistä, oli näissä kokeissa kutakin haluttua havaintopistettä varten suoritettava alusta lähtien erillinen koe, ja sitä varten siis myös aina punnittava uusi näyte. Näin oli välttämätöntä sen vuoksi, että samaa alkuperäistä näytettä ei voitu käyttää haihdutuskokeeseen enää sen jälkeen kun sen olotila oli pH-määräyksen vuoksi oleellisesti muuttunut.

Haihdutuskoetta varten haihdutus-astiaan punnittiin 10 g suuruinen näyte n. 0.1 % eli 10 mg tarkkuudella. Suurempaa tarkkuutta en voinut noudattaa, koska punnitus silloin olisi vaatinut niin paljon aikaa, että ammoniakin haihtuminen olisi tällä välin voinut aiheuttaa paljon suuremman virheen. Haihdutus-astian pohjalle (ilman maata) levitetty näyte vastasi paksuudeltaan n. 16.7 ton/ha. Haihdutus ja typen määräys toimitettiin tavalliseen tapaan (kts. s. 40). Ennakolta määrätyllä hetkellä haihdutus lopetettiin ja haihdutusastiassa olleen näytteen pH määrättiin heti tämän jälkeen.[1])

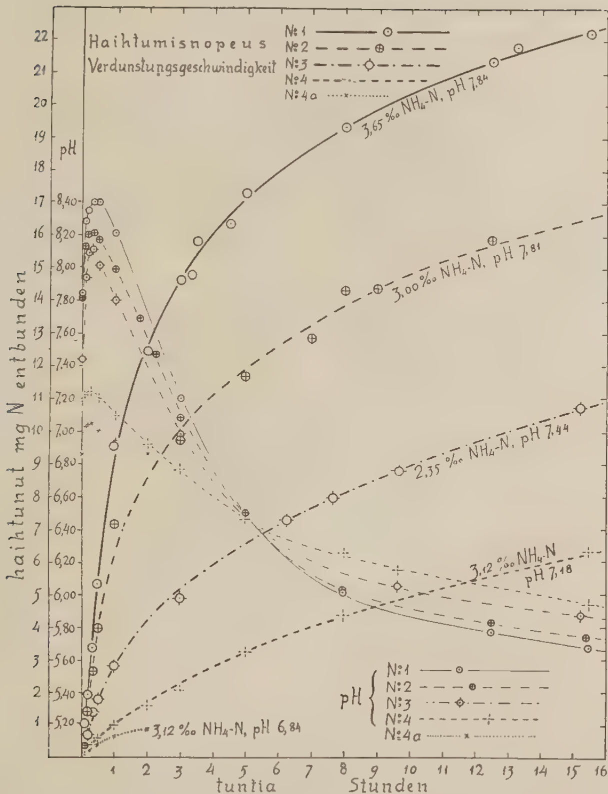
Kaikilla neljällä virtsapehkulla erikseen suoritettujen haihdutuskokeiden

t u l o k s e t

esitetään piirroksina kuvissa 16—19 ja numeroin taulukoissa XIV—XX.[2])

[1]) Valmistaessani suspensioita pH-määräyksiin lisäsin laseihin vettä juuri sen verran, että koelasiin kevyesti painetun lantanäytteen pinta alkoi kiiltää. Sen jälkeen näyte sekoitettiin puuroksi ja pH-määräys toimitettiin 4 5 min. kuluttua veden lisäyksen jälkeen,

[2]) Piirroksessa (kuva 16) on 2 tuntia kestäneen haihdutuksen tulos 5:nnestäkin lannasta (4a), joka oli kuitenkin aivan sama kuin lanta 4. Sen reaktio muuttui kuitenkin vielä säiliössä, jonka vuoksi keskeytin kokeen, alkaakseni sen uudelleen 5 päivän kuluttua. Silloin saatu tulos on merkitty numerolla 4.



Kuva 16. Ammoniakin muodossa tapahtuva typen haihtuminen virtsapehkuista ja niiden saman aikaiset vetyionikonsentratioiden muutokset. Vert. taul. XIV—XX.

Abb. 16. Verlauf der Stickstoffentweichung in Form von Ammoniak aus Jauchetorfen und gleichzeitige Veränderungen der Wasserstoffionenkonzentrationen in diesen. Vgl. Tab. XIV—XX.

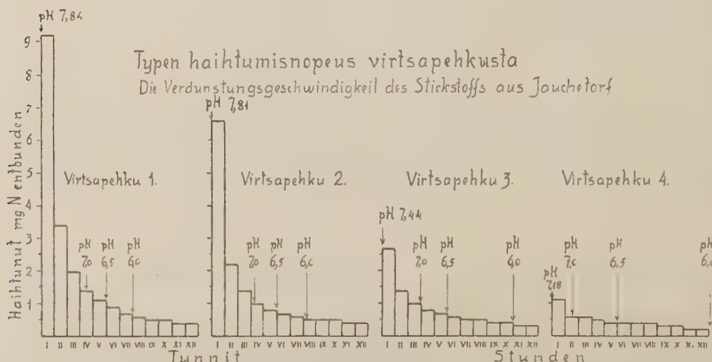
Kuvasta (16) ilmenee, että pH-luku kohosi kaikissa tapauksissa aluksi (vert. s. 63). Mutta n. 1½ tunnin kuluttua se alkoi laskea, ensin jyrkästi, sitten vähitellen hidastuvalla nopeudella. Piirroksen (16) avulla laskin typen haihtumisnopeudet eri lannoista samoina ajankohtina, jolloin näytteiden pH-luvutkin määrättiin. Saadut arvot on merkitty taulukkoihin XIV—XVII (s. 76—78) uloinna oikealla oleviin sarekkeihin. Useimmat taulukoissa XIV ja XV esiintyvistä haihtumisnopeuksista on kuitenkin määrätty siv. 86 esitetyn

Taulukko XIV. *Ammoniakin haihtuminen virtsapehkusta.*
Virtsapehku N:o 1. 15.7 % kuiva-ainetta. 3.65 ‰ NH_4^+-N.
10 g näyte vastaa 16.7 ton/ha.

Tabelle XIV. Ammoniakentweichung aus Jauchetorf.
Jauchetorf Nr 1. 15.7 % Trockensubstanz. 3.65 ‰ NH_4^+-N.
Probe 10 g entspricht 16.7 ton/ha.

Vert. kuva 16, s. 75. *Vgl. Abb. 16, S. 75.*

Aika kokeen alkamisesta tuntia (decim.) *Zeit vom Anfang des Versuches St*	pH	Typpeä haihtunut *Stickstoff entwichen* mg	%	Typen haihtumisnopeus mg/t. *Verdunstungsgeschwindigkeit des Stickstoffes mg/St*
0.10	8.28±0.02	1.07±0.07	2.9	ca. 23 [1]
0.17	8.35±0.03	1.96±0.09	5.4	ca. 15 [1]
0.33	8.40±0.02	3.36±0.15	9.2	ca. 13.5 [1]
0.50	8.40±0.02	5.31±0.36	14.5	9.65
1.00	8.21±0.01	9.53±0.28	26	4.82
2.00	(7.70)	12.42±0.37	34	2.41
3.00	7.20±0.09	14.62±0.34	40	1.61
3.33	(7.10)	14.79±0.03	41	1.45
3.50	(7.00)	15.81±0.53	43	1.37
4.50	(6.65)	16.35±0.39	45	1.07
5.00	6.45±0.09	17.29±0.29	47	0.97
8.00	6.01±0.05	19.32±0.45	53	0.61
12.50	5.77±0.03	21.36±0.28	58	0.39
13.25	(5.75)	21.80±0.34	60	0.36
15.50	5.68±0.02	22.19±0.35	61	0.31
20.50	5.60±0.02	23.45±0.46	64	0.23
28.67	5.58±0.04	24.26±0.37	66	0.17



Kuva 17. Ammoniakin haihtumisen kulku 12 tunnin aikana virtsapehkujen levityksen jälkeen. Vert. kuva 16 ja taulukko XVIII.

Abb. 17. Verlauf der Ammoniakentweichung binnen 12 Stunden nach Ausbreit ung der Jauchetorfe. Vgl. Abb. 16 u. Tab. XVIII.

[1] Laskettu grafisesti. — *Graphisch berechnet.*

Taulukko XV. *Ammoniakin haihtuminen virtsapehkusta.*
Virtsapehku N:o 2. 15.6 % kuiva-ainetta. 3.00 ‰ NH_4^+-N.
10 g näyte vastaa 16.7 ton/ha.

Tabelle XV. Ammoniakentweichung aus Jauchetorf.
Jauchetorf Nr 2. 15.6 % Trockensubstanz. 3.00 ‰ NH_4^+-N.
Probe 10 g entspricht 16.7 ton/ha.

Vert. kuva 16, s. 75. *Vgl. Abb. 16, S. 75.*

Aika kokeen alkamisesta tuntia (decim.) *Zeit vom Anfang des Versuches St*	pH	Typpeä haihtunut *Stickstoff entwichen*		Typen haihtumisnopeus mg/t. *Verdunstungsgeschwindigkeit des Stickstoffes mg/St*
		mg	%	
0.10	8.13±0.03	0.63±0.09	2.1	ca. 12.5 [1])
0.17	8.20±0.01	1.41±0.09	4.7	ca. 10.0 [1])
0.33	8.21±0.02	2.66±0.11	8.9	ca. 9.5 [1])
0.50	8.17±0.03	3.95±0.12	13	7.40
1.00	7.99±0.03	7.13±0.15	24	3.71
2.28	7.47±0.06	9.25±0.24	31	1.62
3.00	7.07±0.14	9.76±0.26	33	1.24
5.00	6.50±0.04	11.69±0.05	39	0.74
7.00	(6.10)	12.84±0.29	43	0.53
8.00	6.00±0.06	14.33±0.35	48	0.47
9.00	(5.95)	14.39±0.85	48	0.41
12.50	5.83±0.03	15.89±0.28	53	0.30
15.50	5.75±0.02	(16.5)	(56)	0.24
17.50	5.70±0.06	17.01±0.38	57	0.21
20.50	5.65±0.01	17.52±0.04	58	0.18
20.67	—	17.58±0.44	59	0.18
28.67	5.62±0.03	18.75±0.41	63	0.13

yhtälön (16) mukaan laskien. Näistä (sekä kuv. 16) voi havaita, että tuuletuksen kestettyä n. 5 tuntia oli kaikkien näytteiden reaktio suunnilleen sama, eli n. pH 6.5. Kuvasta näkyy, etteivät pH-käyrät seuraa tämän jälkeen toisiaan, vaan leikkautuvat siten, että niiden järjestys muuttuu alkuperäiseen järjestykseen verraten päinvastaiseksi. Ei ole lähemmin tutkittu, johtuuko reaktiokäyrien kohtaaminen pH 6.5 vaiheilla ja niiden keskinäisen järjestyksen muuttuminen tästä lähtien jostakin yleisemmin pätevästä syystä, vaiko ainoastaan sattumasta.

Taulukkoon XVIII (s. 79) on koottu tilasto haihtumissuhteista eri tunteina ensimäisen puolen vuorokauden aikana. Sama on esitetty piirroksena kuvassa (17). Taulukosta XVIII voidaan havaita m. m., että väkevimmän lannan (N:o 1) NH_4^+-typestä oli ensimäisen tunnin kuluessa haihtunut tasan neljännes ja 12 tunnin aikana 58 % (vert. s. 18 mainittu Nehringin koe). Lannoissa (2) ja (4) oli alkuperäinen NH_4^+-N-pitoisuus samaa suuruusluokkaa (3.00 ja 3.12 ‰).

[1]) Laskettu graafisesti. — *Graphisch berechnet.*

Taulukko XVI. *Ammoniakin haihtuminen virtsapehkusta.*
Virtsapehku N:o 3. 14.7 % kuiva-ainetta. 2.35 ‰ NH_4^+-N.
10 g näyte vastaa 16.7 ton/ha.

Tabelle XVI. Ammoniakentweichung aus Jauchetorf.
Jauchetorf Nr 3. 14.7 % Trockensubstanz. 2.35 ‰ NH_4^+-N.
Probe 10 g entspricht 16.7 ton/ha.

Vert. kuva 16, s. 75. *Vgl. Abb. 16, S. 75.*

Aika kokeen alkamisesta tuntia (decim.) *Zeit vom Anfang des Versuches St*	pH	Typpeä haihtunut *Stickstoff entwichen*		Typen haihtumisnopeus mg/t. [1]) *Verdunstungsgeschwindigkeit des Stickstoffes mg/St* [1])
		mg	%	
0.10	7.94±0.01	0.38±0.02	1.6	4.50
0.17	8.11±0.02	0.70±0.02	3.0	3.80
0.33	8.11±0.01	1.42±0.05	6.1	3.32
0.50	8.01±0.01	1.78±0.07	7.6	2.56
1.00	7.80±0.01	2.81±0.06	12	1.66
3.00	6.98±0.03	4.87±0.08	21	0.99
4.25	(6.60)	6.51±0.10	28	0.68
6.25	(6.30)	7.31±0.36	31	0.55
7.67	6.34±0.05	7.94±0.23	34	0.48
9.67	6.05±0.03	8.79±0.03	37	0.41
10.00	6.05±0.02	8.68±0.08	37	0.40
15.25	5.87±0.07	10.74±0.25	46	0.31
15.67	(5.87)	11.05±0.25	47	0.28
18.17	5.87±0.02	11.78±0.25	50	ca. 0.2
25.67	5.75±0.03	12.63±0.32	54	ca. 0.1

Taulukko XVII. *Ammoniakin haihtuminen virtsapehkusta.*
Virtsapehku N:o 4. 21.0 % kuiva-ainetta. 3.12 ‰ NH_4^+-N.
10 g näyte vastaa 16.7 ton/ha.

Tabelle XVII. Ammoniakentweichung aus Jauchetorf.
Jauchetorf Nr 4. 21.0 % Trockensubstanz. 3.12 ‰ NH_4^+-N.
Probe 10 g enspricht 16.7 ton/ha.

Vert. kuva 16, s. 75. *Vgl. Abb. 16, S. 75.*

Aika kokeen alkamisesta tuntia (decim.) *Zeit vom Anfang des Versuches St*	pH	Typpeä haihtunut *Stickstoff entbunden*		Haihtumisnopeus mg/t. [1]) *Verdunst.geschw. mg/St* [1])
		mg	%	
0.10	7.21±0.01	0.14±0.02	0.5	ca. 1.2
0.33	7.23±0.02	0.38±0.04	1.2	ca. 1.0
0.50	7.20±0.01	0.50±0.02	1.6	0.90
1.00	7.09±0.01	1.00±0.03	3.2	0.74
2.00	6.94±0.02	1.58±0.06	5.1	0.64
3.00	6.77±0.02	2.03±0.07	6.5	0.56
5.00	6.46±0.04	3.22±0.10	10	0.45
8.00	6.25±0.06	4.35±0.34	14	0.35
15.25	5.94±0.02	6.32±0.22	20	0.24
17.50	5.89±0.01	6.94±0.29	22	0.20
20.50	5.81±0.01	7.28±0.11	23	ca. 0.2
28.67	5.73±0.03	8.64±0.17	28	ca. 0.1

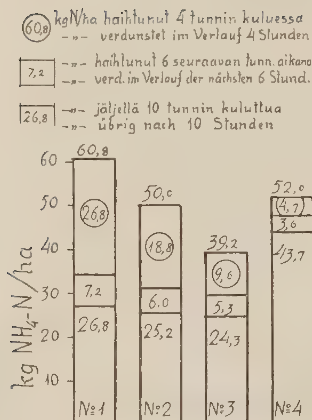
[1]) Laskettu grafisesti. — *Graphisch berechnet.*

Taulukko XVIII. *Ammoniakin haihtuminen 12 tunnin kuluessa kohtalaisen tuulen vallitessa eri pH-asteisista ja eri NH_4^+-N-pitoisista virtsapehkuista.*

Tabelle XVIII. *Verdunstung von Ammoniak im Verlaufe von 12 Stunden aus ziemlich stark ventilierten Jauchetorfen von verschiedenem pH-Wert und NH_4^+-N-Gehalt.*

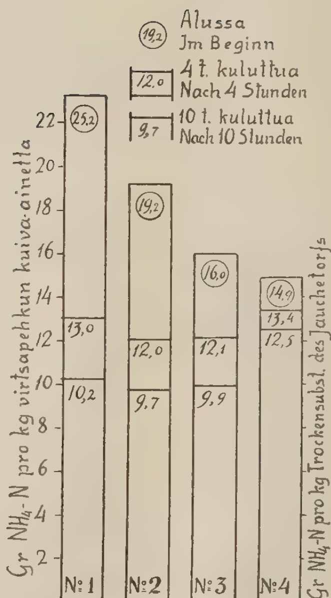
Vert. kuva 16, s. 75. — *Vgl. Abb. 16, S. 75.*

Tunti *Stunde*	Virtsapehku N:o 1 *Jauchetorf* — Tunnin alussa *Anfang d. Stunde* — jäljellä *übr.* mg NH_4^+-N	pH	Haihtunut N *Entwichen N* — tunnin aikana *im Verlaufe von St* — mg	%	alusta lähtien *von Anfang an* — mg	%	Virtsapehku N:o 2 *Jauchetorf* — Tunnin alussa *Anfang d. Stunde* — jäljellä *übr.* mg NH_4^+-N	pH	Haihtunut N *Entwichen N* — tunnin aikana *im Verlaufe von St* — mg	%	alusta lähtien *von Anfang an* — mg	%	Virtsapehku N:o 3 *Jauchetorf* — Tunnin alussa *Anfang d. Stunde* — jäljellä *übr.* mg NH_4^+-N	pH	Haihtunut N *Entwichen N* — tunnin aikana *im Verlaufe von St* — mg	%	alusta lähtien *von Anfang an* — mg	%	Virtsapehku N:o 4 *Jauchetorf* — Tunnin alussa *Anfang d. Stunde* — jäljellä *übr.* mg NH_4^+-N	pH	Haihtunut N *Entwichen N* — tunnin aikana *im Verlaufe von St* — mg	%	alusta lähtien *von Anfang an* — mg	%
I	36.5	7.84	9.2	25.0	9.2	25.0	30.0	7.81	6.6	22.0	6.6	22.0	23.5	7.44	2.7	11.5	2.7	11.5	31.2	7.18	1.1	3.5	1.1	3.5
II	27.3	8.20	3.4	12.5	12.6	34.5	23.4	8.00	2.2	9.5	8.8	29.5	20.8	7.80	1.4	7.0	4.1	17.5	30.1	7.10	0.6	2.0	1.7	5.5
III	23.9	7.70	2.0	8.5	14.6	40.0	21.2	7.55	1.4	6.5	10.2	34.0	19.4	7.40	1.0	5.0	5.0	21.5	29.5	6.90	0.6	2.0	2.3	7.5
IV	21.9	7.20	1.4	6.5	16.6	44.0	19.8	7.10	1.0	5.0	11.2	37.5	18.4	6.95	0.8	4.5	5.8	24.5	28.9	6.75	0.5	1.5	2.8	9.0
V	20.5	6.80	1.1	5.5	17.1	47.0	18.8	6.70	0.8	4.5	12.0	40.0	17.7	6.70	0.7	4.0	6.5	27.5	28.4	6.60	0.4	1.5	3.2	10.5
VI	19.4	6.50	0.9	4.5	18.0	49.5	18.0	6.50	0.7	4.0	12.7	42.5	17.0	6.50	0.6	3.5	7.1	30.0	28.0	6.50	0.4	1.5	3.6	11.5
VII	18.5	6.30	0.7	4.0	18.7	51.5	17.3	6.30	0.6	3.5	13.3	44.5	16.4	6.35	0.6	3.5	7.7	32.5	27.6	6.40	0.4	1.5	4.0	13.0
VIII	17.8	6.10	0.6	3.5	19.3	53.0	16.7	6.10	0.6	3.5	13.9	46.5	15.8	6.20	0.5	3.0	8.2	35.0	27.2	6.30	0.4	1.5	4.4	14.0
IX	17.2	6.00	0.5	3.0	19.9	54.5	16.1	6.05	0.5	3.0	14.4	48.0	15.3	6.15	0.4	2.5	8.6	36.5	26.8	6.25	0.3	1.0	4.7	15.0
X	16.6	5.90	0.5	3.0	20.4	56.0	15.6	6.95	0.5	3.0	14.9	49.5	14.9	6.10	0.4	2.5	9.0	38.0	26.5	6.20	0.3	1.0	5.0	16.0
XI	16.1	5.85	0.4	2.5	20.8	57.0	15.1	5.90	0.4	2.5	15.3	51.5	14.5	6.05	0.3	2.0	9.3	39.5	26.2	6.15	0.2	1.0	5.2	16.5
XII	15.7	5.80	0.4	2.5	21.2	58.0	14.7	5.85	0.4	2.5	15.9	52.5	14.2	6.00	0.3	2.0	9.6	41.0	26.0	6.10	0.2	1.0	5.4	17.0



Kuva 18. Ammoniakin haihtumisen vuoksi virtsapehkuista (1—4) 4 ja 10 tunnin kuluessa syntyneet typen häviöt. Vert. taul. XIX.

Abb. 18 Verluste an Stickstoff durch-Ammoniakverdunstung aus Jauchetorfen (1—4) im Verlaufe von 4 und 10 Stunden. Vgl. Tab. XIX.



Kuva 19. Virtsapehkujen (1—4) alkuperäinen sekä 4- ja 10-tuntisen tuuletuksen jälkeinen NH_4^+-N-pitoisuus pro kg kuiva-ainetta. Vert. taul. XIX, s. 82.

Abb. 19. Gehalt von Jauchetorfen (1—4) an NH_4^+-N ursprünglich sowie nach 4- u. 10-stündiger Lüftung je kg Trockensubstanz. Vgl. Tab. XIX, S. 82.

Mutta kun jälkimäisen reaktio oli suuremmalla turvemäärällä saatettu 0.6–0.9 pH-astetta happamammaksi, oli ammoniakin haihtuminen happamammasta (4) ensimäisen tunnin aikana ainoastaan n. $^1/_6$ siitä kuin emäksisemmästä (2).

Taulukoissa XIV—XVIII ja kuvissa 16—17 on typpimäärät ilmaistu kokeista saatuina totalimäärinä. Mutta jotta tuloksia olisi helpompi verrata edellisissä kokeissa saatuihin (taul. XIII ja kuva 14), olen laatinut taulukon XIX, s. 82 ja piirroksen (kuva 18), joissa tulokset on ilmaistu kiloina pro ha. Näistä ilmenee m. m., että 10 tuntia kestäneen tuuletuksen jälkeen oli lannoissa 1—3 jäljellä lähimain sama määrä (n. 25 kg/ha) NH_4^+-typpeä. Lannassa (4) oli suuremmasta pehkumäärästä johtuneen vähäisemmän haihtumisen vuoksi 10 tunnin kuluttua jäljellä lähes 44 kg NH_4^+-N/ha.

Taulukon XIX, (s. 82) oikeanpuolisissa sarekkeissa ja kuvassa (19) on mainittu eri virtsapehkujen alunperin sekä 4 ja 10 tunnin tuuletuksen jälkeen sisältämät NH_4^+-N-määrät lannan kuiva-ainekiloa kohden. Näihin lukuihin nähden on huomattava, etteivät ne vastaa tässä kokeessa typen suhdetta turpeen, vaan virtsapehkun kokonaiskuiva-aineeseen, joka ei tiettävästikään ole kokonaan turpeesta peräisin.

Kuvasta (16) voidaan todeta, että haihtumiskäyrät taipuvat voimakkaasti oikealle, eli nopeudet alenevat tavallista huomattavammin samoihin aikoihin kuin lannan reaktio siirtyy happamalle pH-alueelle. Mitään jyrkkää mutkaa ei haihtumiskäyrässä tällöin kuitenkaan esiinny, vaan hidastuminen tapahtuu vähitellen.[1]) Vaikka haihtumisnopeus on esim. pH 6.5 vaiheilla paljon pienempi kuin esim. pH 8.4:ssä, ei se ole pH 6.5:ssakaan merkityksetön. Päinvastoin haihtui hyvin helposti mitattavia ammoniakkimääriä pH 6:ssa, vieläpä sen alapuolellakin. Näin ollen voidaan pitää selvitettynä, etteivät turvepehkun humus-hapot sido virtsan ammoniakkia niin lujasti, ettei siitä suurin osa ajanmittaan haihtuisi ilmaan, jos lanta jää olemaan multaamattomana maan pinnalla hyvin kauan. Mutta toisaalta on myös selvitetty, että silloin kun turvepehkua käytetään niin paljon, että lannan reaktio laskee pH 6.5—6.0 välimaille, on haihtuminen niin hidasta, että multaus voidaan käytännössäkin toimittaa ennen kuin ammoniakin haihtumishäviö on ehtinyt kohota merkittävän suureksi. Mutta jos pehkua käytetään vain sen verran, että se parahiksi pidättää virtsan, kohoaa reaktioluku helposti pH 8:aan, vieläpä huomattavasti sen ylikin. Ja tällöin on ammoniakin haihtumisnopeus ensi hetkinä levityksen jälkeen niin suuri, ettei käytännössä hevin voida välttää suurta typen menetystä.

Sekä Tuorila että vähän myöhemmin ja toista tietä Egnér ovat osoittaneet, että ammoniakin haihtumisnopeus on lannan ja virtsan käsittelyssä tavallisimmin kysymykseen tulevalla reaktio-alueella kääntäen suhteellinen vallitsevaan vetyionikonsentratioon (vert. s. 11 ja 12). Taulukoissa XIV—XVII (s. 76—78) olevien tietojen perusteella ja aikaisemmin (s. 1) esitettyä yleistä tasapainoyhtälöä sekä veden dissosioitumis-yhtälöä apuna käyttäen voidaan tarkastaa, missä määrin ammoniakin haihtumisnopeus seuraa ohueksi kerrokseksi levitetyn lannan k o k o n a i s-reaktiota. Kiinteästä lannasta (myös maahan levitetystä virtsasta) puheen ollen on tehtävä tarkka ero kokonaisreaktion ja varsinaisen haihtumispinnan reaktion välillä. Viimemai-

[1]) Jos hapottamiseen olisi käytetty jotakin vahvaa happoa, olisi haihtumiskäyriin todennäköisesti syntynyt jyrkempi mutka sen jälkeen kun pH-luku olisi sivuuttanut neutralikohdan.

Taulukko XIX. *Ammoniakin haihtuessa eri NH_4-N-pitoisista virtsapehkuista 4 ja 10 tunnin kuluessa syntyneet typen häviöt hehtaaria kohden.*

Tabelle XIX. *Stickstoffverluste je ha im Verlaufe von 4 und 10 Stunden durch Ammoniakentweichung aus Jauchetorfen von verschiedenem NH_4^+-N-Gehalt.*

Vert. kuv. 16—19, s. 75—80. — *Vgl. Abb. 16—19, S. 75—80.*

Virtsapehku *Jauchetorf*		Kuiva-ainetta *Trockensubstanz*		pH		NH_4^+-N							
				Kokeen alkaessa *Am Anfang des Versuches*	Korkein havaittu arvo *Der beob. höchste Wert*	Pro kg kuiva-ainetta g *Je kg Trockensubst.* g	Annos pro ha kg *Gabe je ha* kg	Haihtunut/ha *Entwichen ha*		Jäljellä/ha *Übrig ha*		Jäljellä/kg kuiva-ain. *Übrig kg Trockens.*	
								4 tunnin kuluessa *Binnen 4 St.*	10 tunnin kuluessa *Binnen 10 St.*	4 tunnin kuuttua *Nach 4 St.*	10 tunnin kuluttua *Nach 10 St.*	4 tunnin kuluttua *Nach 4 St.*	10 tunnin kuluttua *Nach 10 St.*
N:o	ton/ha	%	kg/ha					kg	kg	g	g	kg	kg
1	16.67	15.7	2 617	7.84	8.40	23.0	60.8	26.8	34.0	34.0	26.8	13.0	10.2
2	16.67	15.6	2 601	7.81	8.21	19.2	50.0	18.8	24.8	31.2	25.2	12.0	9.7
3	16.67	14.7	2 450	7.44	8.11	16.0	39.2	9.6	14.9	29.6	24.3	12.1	9.9
4	16.67	21.0	3 501	7.18	7.23	14.9	52.0	4.7	8.3	47.3	43.7	13.4	12.5

nittu, joka ensi sijassa määrää ammoniakin paineen ja tämän mukaan myös sen haihtuvaisuuden, muodostuu olosuhteista riippuen hitaammin tai nopeammin happamammaksi kuin lanta keskimäärin. Tämän (ilmeisesti) hyvin ohuen pintakerroksen reaktioluvun määrääminen ei ole kuitenkaan teknillisesti mahdollista. Sellaisissa ammoniakin paineen mittausta tarkoittavissa kokeissa, joissa tuuletusilma hitaasti pulputetaan liuoksen lävitse, ja joissa liuos alituisen liikkeessä olon vuoksi sekaantuu perusteellisesti, ei tällaista haihtumista hidastavaa pintakerrosta yleensä tarvitse ottaa ollenkaan huomioon. Toisin on asianlaita kiinteään lantaan nähden, jossa ammoniakin siirtyminen lantarakeiden sisästä varsinaiseen haihtumispintaan tapahtuu etupäässä diffusion (kosteassa lannassa ilmeisesti myös veden kapillaarisen liikkeen) vaikutuksesta. Kun diffusio on hidas, on odotettavissa, että ammoniakin haihtuminen tapahtuu kiinteästä lannasta hitaammin kuin sen kokonaisreaktio edellyttäisi. Että näin onkin asianlaita, ilmenee laskuista, jotka on esitetty taulukossa XX s. 84. Siinä on lannoissa 1—4 eri ajankohtina havaittujen reaktiolukujen ja niitä vastaavien $[NH_4^+] + [NH_3]$-väkevyyksien perusteella ja käyttäen apuna alla olevia yhtälöitä laskettu näytteiden kunakin ajankohtana sisältämät NH_3-määrät (sareke 7) sekä näiden keskinäiset suhteet (sar. 8), jolloin 15.5 ($15^1/_4$) tunnin tuuletusta vastaava suhteellinen väkevyys on merkitty luvulla (1.00). Sarekkeessa (7) mainitut NH_3-määrät on laskettu seuraavin perustein: Merkitään näytteessä jäljellä oleva NH_4^+-N + NH_3-N = M sekä suhde $\frac{NH_4^+\text{-N}}{NH_3\text{-N}} = n$. Ammoniakin dissosiatio-yhtälöstä

$$\frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]} = 1.87 \times 10^{-5} \qquad (9)$$

käyttämällä apuna veden dissosiatioyhtälöä

$$[OH^-] = \frac{1.27 \times 10^{-14}}{[H^+]} \qquad (10)$$

saadaan

$$\frac{[NH_4^+]}{[NH_3]} = \frac{1.87 \times 10^{-5}}{[OH^-]} = \frac{1.87 \times 10^{-5}}{1.27 \times 10^{-14}}[H^+] = n \qquad (11)$$

Koska $$NH_4^+ + NH_3 = M \qquad (12)$$

ja $$\frac{[NH_4^+]}{[NH_3]} = n \qquad (13)$$

Taulukko XX. *Ammoniakin haihtumisnopeuden riippuvaisuus virtsapehkun vetyionikonsentratiosta.*

Tabelle XX. Die Abhängigkeit der Verdunstungsgeschwindigkeit des Ammoniaks von der Wasserstoffionenkonzentration des Jauchetorfes.

Vert. kuva 16, s. 75. *Vgl. Abb. 16, S. 75.*

Virtsapehku *Jauchetorf*	Aika tunt. *Zeit St.*	pH	$[H^+]$	Jäljellä NH_4^+-N + NH_3-N *übrig* mg	$\frac{[NH_4^+]}{[NH_3]}+1$	Typpeä NH_3:n muodossa jäljellä näytteessä *Stickstoff in Form von Ammoniak (NH_3) in der Probe übrig*: Laskettu määrä *Berechn. Menge* mg	Suhdeluku *Verh.zahl* s	Haihtumisnopeus *Verdunstungsgeschwindigkeit*: mg/t. *St*	Suhdeluku *Verh.zahl* s_1	$\frac{s}{s_1}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N:o 1	0.50	8.40	3.98×10^{-9}	30.19±0.36	6.86	4.4015	957	9.65	31.1	30.8
	1.00	8.21	6.16×10^{-9}	26.97±0.28	10.07	2.6788	582	4.82	15.5	37.5
	3.00	7.20	6.31×10^{-8}	21.88±0.34	93.28	0.2346	51.0	1.61	5.19	9.82
	5.00	6.45	3.54×10^{-7}	19.21±0.29	522	0.0368	8.00	0.97	3.13[1])	2.56
	8.00	6.01	9.77×10^{-7}	17.18±0.45	1 439	0.0119	2.59	0.61	1.97	1.31
	12.50	5.77	1.69×10^{-6}	15.14±0.28	2 489	0.0061	1.33	0.39	1.26	1.06
	15.50	5.68	2.09×10^{-6}	14.31±0.35	3 077	0.0046	1.00	0.31	1.00	1.00
N:o 2	0.50	8.17	6.76×10^{-9}	26.05±0.12	10.95	2.3790	458	7.40	30.8	14.8
	1.00	7.99	1.02×10^{-8}	22.87±0.15	16.01	1.4285	275	3.71	15.5	17.7
	3.00	7.07	8.51×10^{-8}	21.24±0.26	126.3	0.1682	32.3	1.24	5.16	6.26
	5.00	6.50	3.16×10^{-7}	18.31±0.05	466.2	0.0393	7.56	0.74	3.08[1])	2.45
	8.00	6.00	1.00×10^{-6}	15.67±0.35	1 473	0.0106	2.04	0.47	1.96	1.04
	12.50	5.83	1.48×10^{-6}	14.11±0.28	2 179	0.0065	1.25	0.30	1.25	1.00
	15.50	5.75	1.77×10^{-6}	(13.50)	2 606	0.0052	1.00	0.24	1.00	1.00
N:o 3	0.50	8.01	9.77×10^{-9}	21.72±0.07	15.38	1.4122	217	2.56	8.26	26.3
	1.00	7.80	1.58×10^{-8}	20.69±0.06	24.26	0.8528	131	1.66	5.35	24.5
	3.00	6.98	1.04×10^{-7}	18.63±0.08	154.1	0.1215	18.7	0.99	3.19	5.86
	6.25	(6.30)	(5.01×10^{-7})	16.19±0.36	738.5	0.0219	3.37	0.55	1.77[2])	1.90
	7.67	(6.15)	(7.08×10^{-7})	15.56±0.23	1 043	0.0149	2.29	0.48	1.54	1.49
	9.67	6.05	8.91×10^{-7}	14.71±0.03	1 313	0.0112	1.72	0.41	1.32	1.30
	15.25	5.87	1.34×10^{-6}	12.76±0.25	1 973	0.0065	1.00	0.31	1.00	1.00
N:o 4	0.50	7.20	6.31×10^{-8}	30.70±0.02	93.88	0.3270	22.1	0.90	3.75	5.89
	1.00	7.09	8.12×10^{-8}	30.20±0.03	120.5	0.2506	16.9	0.74	3.08	5.49
	2.00	6.94	1.14×10^{-7}	29.62±0.06	168.8	0.1755	11.9	0.64	2.67	4.46
	3.00	6.77	1.69×10^{-7}	29.17±0.07	249.8	0.1168	7.92	0.56	2.33[2])	3.40
	5.00	6.46	3.46×10^{-7}	27.98±0.10	510.3	0.0548	3.71	0.45	1.88	1.97
	8.00	6.25	5.62×10^{-7}	26.85±0.34	828.3	0.0324	2.19	0.35	1.46	1.50
	15.25	5.94	1.14×10^{-6}	24.88±0.22	1 679	0.0148	1.00	0.24	1.00	1.00
	17.50	5.89	1.28×10^{-6}	24.26±0.29	1 885	0.0129	0.87	0.20	0.83	1.05

[1]) Laskettu s. 86 esitetyn kaavan (16) mukaan. — *Berechnet nach Formel (16) auf S. 86.*

[2]) Laskettu grafisesti. — *Graphisch der berechnet.*

saadaan yhdistämällä yhtälöt (12) ja (13) näytteessä jäljellä olevan ammoniakin määräksi:

$$NH_3 = \frac{M}{n+1} \tag{14}$$

Sarekkeesta 8 (taul. XX) ilmenee siis m. m., että esim. lannassa N:o 1 on ½ tuntia kestäneen tuuletuksen jälkeen 957 kertaa niin suuri ammoniakin paine kuin 15 tuntia myöhemmin, jonka mukaan siis haihtumisnopeuden tulisi olla ensimäisen havainnon (0.50 t.) hetkellä 957 kertaa niin suuri kuin viimeisen (15.5 t.) havainnon kohdalla. Yhtälön (16) s. 86 mukaan laskettujen haihtumisnopeuksien ero on kuitenkin ensi havainnoissa monin verroin (yli 30:kin kertaa) pienempi, kuten sarekkeesta 11 selviää. Niinpä on todellinen haihtumisnopeus äsken mainitussa tapauksessa pH 8.40 kohdalla ainoastaan 31.1 kertaa (ks. sareke 10) niin suuri kuin pH 5.68 kohdalla ja esim. pH 8.21 kohdalla ainoastaan 15.5 kertaa niin suuri kuin reaktiossa 5.68 jne, vaikka sen olisi pitänyt olla viimeksi mainitussa tapauksessa 582-kertainen, jos haihtumisnopeus riippuisi koko massan keskimääräisestä reaktiosta. Tässä tapauksessa haihtumisnopeus on siis jäänyt luultavasti »diffusiofaktorin» vaikutuksesta n. 30 kertaa pienemmäksi kuin mitä näytteen keskimääräisen reaktion perusteella laskien olisi saatu.

Taulukon XX sarekkeessa (11) esitetyt suhdeluvut ilmaisevat, kuinka monta kertaa nopeampi haihtumisen olisi kunakin ajankohtana tullut olla, jotta se olisi vastannut asianomaisina hetkinä vallinnutta lannan kokonaisreaktiota. Näistä suhdeluvuista nähdään, että haihtumisnopeus on ensi tunteina monta kertaa pienempi kuin lantanäytteiden keskimääräinen $[H^{\cdot}]$ edellyttäisi.[1]) Vasta muutaman tunnin kuluttua haihtumisnopeus alkaa suunnilleen seurata vetyionikonsentration muuttumista, ollen siihen kääntäen suhteellinen. Tämä tila saavutettiin näytteen reaktion tullessa pH 6 vaiheille. Tällöin haihtuvaisuusfaktorin arvo tuli niin pieneksi ja haihtuminen sen vuoksi niin hitaaksi, että lantarakeiden sisästä pinnalle päin suuntautuva ammoniakin diffusio ehti korvata haihtuneen kaasun, eli toisin sanoen haihtumis- ja diffusionopeudet vastasivat toisiaan.

Ammoniakin haihtumisen muodossa tapahtuvan typen häviön suuruuden määrää siis edellisen mukaan muiden tekijöiden ohella varsin huomattavalla tavalla tekijä, jota voisi nimittää diffusio-

[1]) Tässä ei voida puhua todellisesta vetyionikonsentratiosta, koska sitä ei ole voitu kiinteän lannan pintakerroksesta erikseen mitata.

faktoriksi. Sen numerollista arvoa ei ole eri olosuhteisiin nähden määrätty. Kuten edellä esitettiin näyttää sen vaikutus emäksisen reaktion alueella ja happamallakin alueella vielä pH 6—6.5 vaiheille saakka tekevän haihtumisen hitaammaksi kuin mitä yksinomaan keskimääräisen NH_3:n paineen perusteella voidaan laskea.

4. *Maahan levitetystä virtsasta tai virtsapehkusta ammoniakin muodossa haihtunut typpimäärä ajan funktiona.*

Jos ammoniakin haihtumista maan pinnalle levitetystä virtsasta ja virtsapehkusta koskevien kokeiden tulokset esitetään graafisesti suorakulmaisessa koordinaatistossa siten, että haihtunut NH_3-N-määrä (y) merkitään y-akselille ja ajan (t) logaritmi x-akselille, saadaan suoria viivoja. Tämä näkyy kuvista 20 ja 21, joissa on esitetty eräistä koesarjoista 2—4 tapausta kustakin. Kaikissa tutkituissa tapauksissa on täten esitetty viiva (koevirheet huomioon ottaen) suora ainakin 1—10 ensimäisen tunnin ajan. Aikajaksona, jonka kuluessa viiva on suora, voidaan se esittää yhtälöllä:

$$y = y_1 + k \times \log t \qquad (15)$$

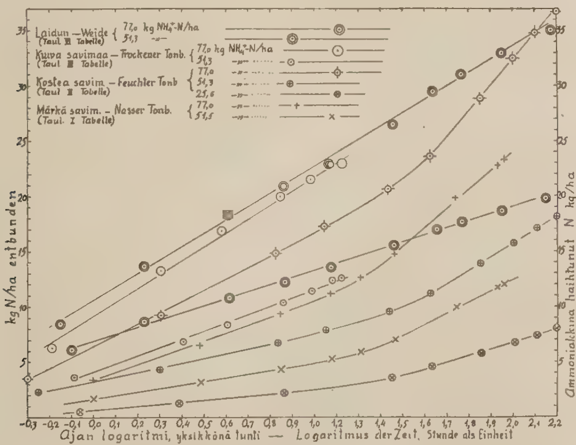
Tässä yhtälössä ovat y_1 ja k vakioita. Vakion (y_1) arvo on sama kuin ensimäisenä aikayksikkönä (tuntina) haihtunut NH_3-N-määrä, ja vakion (k) arvo voidaan laskea esim. yhtälöstä $k = y_{10} \div y_1$, jossa y_{10} on 10:ssä aikayksikössä (tunnissa) haihtunut N-määrä. Yhtälöstä (15) saadaan derivoimalla ammoniakkitypen haihtumisnopeudelle kunakin ajankohtana seuraava yhtälö:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{0{,}4343 \times k}{t} \qquad (16)$$

Tästä yhtälöstä näkyy, että aikajaksona, jona yhtälö (15) pätee (siis ainakin 1—10 tunnin kuluessa), ammoniakkitypen haihtumisnopeus on kääntäen verrannollinen aikaan, joten haihtumisnopeus siis on esim. 1 tunnin kuluttua lannoitteen levityksestä 4 kertaa niin suuri kuin 4 tunnin kuluttua ja 10 kertaa niin suuri kuin 10 tunnin kuluttua jne.

Avomaata koskevissa kokeissa haihtuminen oli n. ½ vuorokauden kuluttua hieman vilkkaampaa kuin yhtälö (16) edellyttäisi, ja sen vuoksi viivat myös taipuvat ylöspäin. On mahdollista, että avomaan kokeisiin käytetyn (2—4 viikon vanhan) virtsan typestä

pieni osa ammonisoitui maassa sen jälkeen kun virtsa oli ollut jonkin aikaa ilman vaikutuksen alaisena. Täten myöhemmin mukaan tullut, ilmeisesti hyvin pieni »ylimääräinen» ammoniakkimäärä saattoi siis aiheuttaa vähäisen lisäyksen haihtumispaineeseen. Laidunta koskevat kokeet suoritettiin samalla virtsalla n. kuukautta myöhemmin. Siihen mennessä ammonisoituminen oli nähtävästi edistynyt säilöpullossa niin pitkälle, ettei maassa kokeen suorituksen aikana mahdollisesti vielä pienin määrin jatkunut ammoniakin muodostuminen enää kyennyt mitattavin määrin vilkastuttamaan haihtumista. Tästä johtuneekin, että laidunta koskevat viivat (kuva 20) ovat suoria kokeiden koko käynnissä oloa, eli n. 119 tunnin aikaa vastaavan matkan.

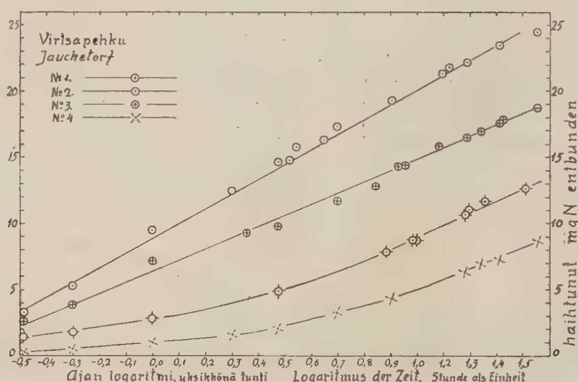


Kuva 20. Haihtuneen typpimäärän suhde ajan logaritmiin. Vert. taul. I—III ja VI.

Abb. 20. Die in Form von Ammoniak entwichene Stickstoffmenge im Verhältnis zum Logarithmus der Zeit. Vgl. Tab. I—III u. VI.

Virtsapehkuja (3) ja (4) esittävät viivat (kuva 21) käyristyvät myös ylöspäin ja osoittavat siis hieman nopeampaa haihtumista kuin yhtälön (16) mukaan pitäisi. Näissä tapauksissa on kuitenkin hyvin luultavaa, että pieniä virtsa-ainemääriä tai muussa muodossa olevaa typpeä on ammonisoitunut kokeiden aikana. Erikoisen luultavaa tämä on virtsapehkuun (4) nähden. (Vert. käyriä 4 ja 4 a kuvassa 16 ja aliviittaa 2 s. 74). Tämä kokeen aikana mahdollisesti tapahtunut ammonisoituminen voisi osittain selittää myös sen, että pH-käyrät leikkaavat toisensa siten kuin kuvasta 16 ilmenee.

Kun yhtälöiden (15) ja (16) pätevyys riippuu oleellisesti siitä, että ulkoiset olosuhteet pysyvät vakioina, ei niitä voida soveltaa haihtumisnopeuden laskemiseen yleensä pitemmän ajan kuin noin puolen vuorokauden kuluessa. Mutta kun verrattomasti suurin osa haihtumisesta johtuvasta kokonaistappiosta syntyy ensimäisten tuntien aikana, eivät myöhemmin syntyvät häviöt enää olekaan erikoisen merkittäviä. Sitäpaitsi on huomattava, että olosuhteet voivat muuttua lyhemmänkin ajan kuin 10 tunnin kuluessa, jolloin haihtumisen nopeuskin muuttuu olosuhteiden mukaan. Niinpä on osoitettu, että sade keskeyttää haihtumisen joko joksikin ajaksi tai käytännöllisesti katsoen mahdollisesti kokonaankin.



Kuva 21. Virtsapehkusta ammoniakin muodossa haihtuneen typpimäärän suhde ajan logaritmiin. Vert. taul. XIV—XVII.

Abb. 21. Die in Form von Ammoniak aus Jauchetorf entwichene Stickstoffmenge im Verhältnis zum Logarithmus der Zeit. Vgl. Tab. XIV—XVII.

5. *Täydentävät kokeet ammoniakin haihtumisnopeuden määräämiseksi tuuletuksen alkuvaiheessa.*

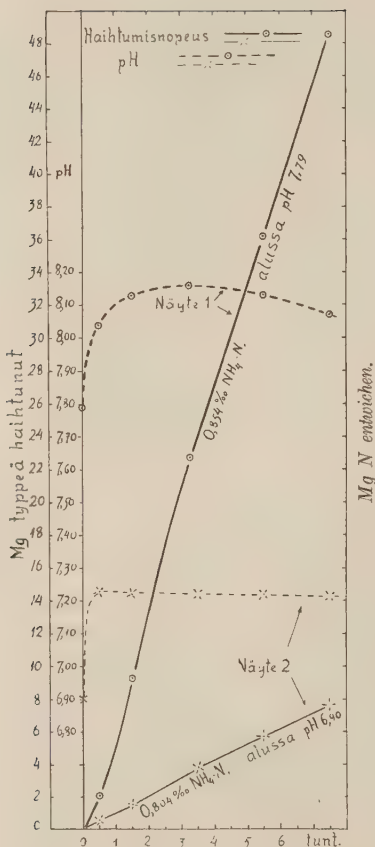
Edellisissä kokeissa havaittiin, että lannan vetyionikonsentratio alenee ensi hetkinä sen jälkeen kun näyte on otettu ulos umpinaisesta säiliöstä. Tämän johdosta on otaksuttavissa, että ammoniakin haihtuminen tapahtuu kiihtyvällä nopeudella lähimain siihen asti, kunnes pH-luku on saavuttanut korkeimman arvonsa. Haihtumisen kiihtymiseen viittaa myös m. m. se käytännössä tehty havainto, jonka mukaan t i i v i i n virtsasäiliön avaamishetkellä tuntuva ammoniakin haju on heikompi kuin hetkistä myöhemmin. Saman havainnon

voi tehdä myöskin kiinteän lannan suhteen silloin kun ryhdytään purkamaan ammoniakkirikasta patteria. Kun tästä on ylin ammoniakkiköyhä kerros poistettu ja syvemmällä oleva rikas kerros saatu näkyviin, ei siinäkään aivan heti tunnu niin voimakasta ammoniakin hajua kuin vähän myöhemmin. Tämän ilmiön tiedetään johtuvan siitä, että tiiviissä säiliössä vallitseva suuri hiilihapon osapaine pitää vetyionikonsentration korkeana ja haihtuvaisuusfaktorin arvon sen vuoksi alhaisena. Tähän seikkaan perustuvatkin ehdotukset hiilihapon käyttämisestä lannan konservoimisaineena (vert. ed. s. 28). Mutta kun hiilihapon ulkopuolinen paine alenee, haihtuu se nopeasti pois lannasta, jolloin myöskin vetyionikonsentratio pienenee ja ammoniakin osapaine ja siitä johtuen myös sen haihtumisnopeus kasvaa. Tämän seikan on EGNÉR (s. 17) teoretisesti osoittanut. Haihtumisen kiihtymistä välittömästi osoittavia koetuloksia en ole kirjallisuudesta tavannut. Tämä ei käy ilmi myöskään edellä selostamistani koetuloksista, ellei viitteenä siihen suuntaan voisi pitää sitä taulukon XX sarekkeesta 11 ilmenevää seikkaa, että suhde $\frac{s}{s_1}$ on lantoihin (1) ja (2) nähden 0.50 tunnin kohdalla paljon pienempi kuin 1.00 tunnin kohdalla. Ettei haihtumisen ohimenevä kiihtyminen tuuletuksen alkuvaiheessa ole tullut edellä esitetyissä haihtumiskäyrissä näkyviin, johtunee yksinomaan mittausmenetelmän epätarkkuudesta.

Edellisten kokeiden täydennykseksi järjestin seuraavan koesarjan, jonka lähimpänä tarkoituksena oli lisätietojen hankkiminen haihtumisnopeuden luonteesta nimenomaan tuuletuksen alkuvaiheessa. Jottei edellä (s. 85) viitattua diffusiotekijää olisi tarvinnut ottaa huomioon, suoritin nämät kokeet kahdella virtsapehkususpensiolla, joiden lävitse tuuletusilma voitiin pulputtaa. Suspensiot valmistin pitämällä erikoisesti silmällä sitä, että niiden NH_4^+-N- ja kuiva-ainepitoisuus olisivat samaa suuruusluokkaa, mutta reaktiot (turpeella hapottaen) poikkeaisivat mahdollisimman paljon toisistaan. Suspensioiden laatu oli seuraava:

	Kuiva-ainetta %	NH_4^+-N ‰	pH alussa	pH korkein havaittu arvo
N:o 1	7.3	0.854	7.79	8.22
N:o 2	7.9	0.804	6.90	7.28

Jottei NH_4^+-N-pitoisuuden muuttuminen tuuletuksen aikana olisi oleellisesti vaikuttanut tuloksiin ja ettei sitä sen vuoksi olisi tarvinnut ottaa huomioon, käytin osakokeisiin isohkon määrän, 0.5 litraa



Kuva 22. Ammoniakin haihtuminen virtsapehkususpensioista, joiden lävitse johdettiin 7—9 litraa ilmaa minutissa. Vert. taul. XXI, s. 92.

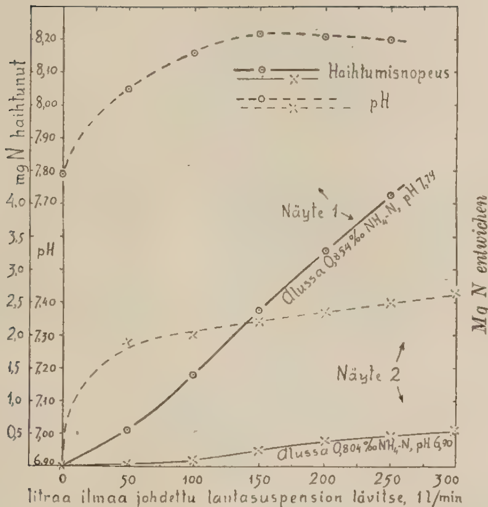
Abb. 22. Verdunstung von Ammoniak aus Jauchetorfsuspensionen, durchlüftet mit 1,0 l/min. Vgl. Tab. XXI, S. 92.

suspensiota. Tuuletukseen käytin kahta ilmavirran nopeutta: toisessa kokeessa 7—9 litraa ja toisessa 1 litra ilmaa minutissa. Nopeampaan tuuletukseen käytettyä ilmamäärää ei voitu tarkoin mitata, mutta hitaamman tuuletuksen nopeus tunnetaan paremmin. Tässä tapauksessa ilman virtaus synnytettiin kahden suuren pullon avulla. Niistä oli toinen n. 2 m korkeammalla kuin toinen. Ylemmästä, vedellä täytetystä pullosta annettiin lapon imeä vettä alempaan. Lapon toiminta järjestettiin siten, että se tyhjensi ylemmän pullon (50 l.) tasan 50 minutissa. Veden tilalle tullut ilma johdettiin tutkittavalla suspensiolla täytetyn haihdutusastian ja H_2SO_4 sisältävän kaasunpesupullon lävitse. Tuuletus suoritettiin 50 min. kestävinä jaksoina, jolloin siis aina 50 l ilmaa kulki systeemin lävitse. Ilman nopeus (1 l/min.) tarkoittaa keskimääräistä nopeutta, sillä lukuun ei ole otettu sitä, että lappo toimi kunkin tuuletusjakson alussa vähän nopeammin kuin lopussa.

T u l o k s e t

esitetään taulukossa XXI sekä kuvissa 22 ja 23.

Taulukosta XXI ja kuvasta (22) ilmenee m. m., että haihtuminen on kumpaankin suspensioon nähden aluksi vähän hitaampi kuin myöhemmin. Ja sen vuoksi haihtumisen kulkua esittävät käyrät ovat alapäästään y-akselia vastaan koveroja. Reaktioluvun nousu tuuletuksen alussa on myös selvä.

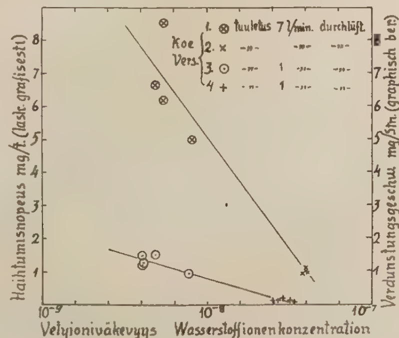


Kuva 23. Ammoniakin haihtuminen virtsapehkususpensioista, joiden lävitse johdettiin 1.00 litraa ilmaa minutissa. Vert. taul. XXII, s. .

Abb. 23. Verdunstung von Ammoniak aus Jauchetorfsuspensionen, durchlüftet mit 1.00 l/min. Vgl. Tab. XXII, S. .

Hitaamman tuuletuksen vaikutusta esittävistä luvuista taulukossa XXI (kokeet 2 ja 4) ja kuvasta 23 ilmenee vielä selvemmin kuin edellisestä, että haihtumisnopeus on aluksi kiihtyvä.

Taulukon XXI mukaan laaditusta piirroksesta (kuva 24) ilmenee, että haihtumisnopeus on kääntäen suhteellinen vetyionikonsentratioon.



Kuva 24. Ammoniakin haihtumisnopeus vetyionikonsentration funktiona.
Abb. 24. Verdunstungsgeschwindigkeit von Ammoniak als Funktion der Wasserstoffionenkonzentration.

Taulukko XXI. *Ammoniakin haihtumisnopeus lävitse tuuletetusta virtsapehkususpensiosta.*

Suspension NH_4^+-N-pitoisuus kokeissa 1 ja 3 0.854 ‰, kokeissa 2 ja 4 0.804 ‰.

Tabelle XXI. Verdunstungsgeschwindigkeit von Ammoniak aus durchlüfteten Jauchetorfsuspension.

Gehalt an NH_4^+-N der Suspension in den Versuchen 1 u. 3 0.854 ‰, in den Versuchen 2 u. 4 0.804 ‰.

Vert. kuva 22—24. — *Vgl. Abb. 22—24.*

Tuuletusilmaa n. 7 l/min. *Durchlüftet mit ca. 7 l/min*				Tuuletusilmaa 1.0 l/min. *Durchlüftet mit 1.0 l/min*			
Aika tunt. *Zeit St*	pH	[H⁺]	Haihtumisnopeus, määr. graafisesti *Verdunstungsgeschwindigkeit, graphisch berechnet*	Aika tunt. *Zeit St*	pH	[H⁺]	Haihtumisnopeus, määr. graafisesti *Verdunstungsgeschwindigkeit, graphisch berechnet*
Koe 1. — *Versuch 1.*				Koe 3. — *Versuch 3.*			
0.00	7.79	1.63×10^{-8}	—	0.00	7.79	1.63×10^{-8}	—
0.50	8.04	9.12×10^{-9}	5.00	0.83	8.05	8.91×10^{-9}	0.94
1.50	8.13	7.41×10^{-9}	8.54	1.67	8.16	6.91×10^{-9}	1.50
3.25	8.16	6.91×10^{-9}	6.67	2.50	8.22	6.02×10^{-9}	1.48
5.50	8.13	7.41×10^{-9}	6.21	3.33	8.21	6.16×10^{-9}	1.26
				4.17	8.20	6.13×10^{-9}	1.22
Koe 2. — *Versuch 2.*				Koe 4. — *Versuch 4.*			
0.00	6.90	1.26×10^{-7}	—	0.00	6.90	1.26×10^{-7}	—
0.50	7.23	5.88×10^{-8}	0.92	0.83	7.28	5.28×10^{-8}	0.07
1.50	7.22	6.02×10^{-8}	1.00	1.67	7,30	$5.01 \cdot 10^{-8}$	0.14
3.50	7.22	$6.02 \times 10^{-}$	1.06	2.50	7.34	4.57×10^{-8}	0.18
5.50	7.22	$6.02 \times 10^{-}$	0.98	3.33	7.37	4.26×10^{-8}	0.12
				4.17	7.40	3.98×10^{-8}	0.11

B. Kenttäkokeet.

Vuodesta 1936 lähtien suoritin vuosittain 2 sarjaa lannan multausaikakokeita ammoniakin haihtumisen merkityksen selvittämiseksi käytäntöä vastaavissa olosuhteissa. Järjestelyltään nämät kokeet muistuttivat Tanskassa jo aikaisemmin suoritettuja multauskokeita (Iversen, 1934, 1937 ja 1938). Kokeissani käytin kahta, m. m. ammoniakkipitoisuudeltaan hyvin erilaista lantaa: Toisessa koesarjassa turvepehkuun imeytettyä virtsaa (virtsapehkua) ja toisessa sarjassa ammoniakkiköyhempää, mudansekaista tunkiolantaa.

1. *Kokeiden järjestelytapa ja yleiset koe-olosuhteet*

olivat virtsapehkulla ja tunkiolannalla suoritetuissa kokeissa suurelta osaltaan samat, joten ne voidaan selostaa yhdessä. Tärkeimmät molemmille sarjoille yhteiset olosuhteet selviävät seuraavasta yhdistelmästä:

Vuosi	Koe-maa	Koekasvi	Peruslannoitus kotkafosfatti, kg/ha	Lannan levityspäivä	Siemenen kylvöpäivä	Niittopäivä
1936	Hieno hiekka	Kaura	250	20—23/V	23/V	17—18/VIII
1937	Hietasavi ...	Kev. vehnä ..	300	11—14/V	14/V	20/VIII
1938	» ...	Kaura	300	17—20/V	21/V	19/VIII
1939	» ...	»	300	12—15/V	15/V	19/VIII

Lannan levitysaikoina vallinneista sääsuhteista tehdään selkoa myöhemmin yksityiskohtaisten koeselostusten yhteydessä.

Koeruudut olivat kaikkina vuosina suhteellisen pieniä, ainoastaan 24—28 m² suuruisia. Jokaisen ruudun kumpaisestakin pitkästä sivusta jätettiin 1 m levyinen kaistale sadon punnituksessa huomioon ottamatta. Korjattavaksi jäänyt 2 m levyinen nettoala ympäröitiin jo keväällä sarkojen [1]) yli pingoitetuilla vernissatuilla nuorilla, jota menettelyä olen noudattanut kaikissa muissakin lannoituskokeissa. Näiden nuorien mukaan sadon korjuu kävi nopeasti ja ennen kaikkea niin tarkasti, että ruutujen leveyden vaihtelut voitiin käytännöllisesti katsoen täydelleen välttää. Peruslannoitukseksi käytetty kotkafosfaatti levitettiin koneella ennen eläinlannan levitystä. Fosfaatin levitystavasta johtuu, että kaikille ruuduille saatiin mahdollisimman tasainen lannoitus, mutta toiselta puolen on epävarmaa, tuliko todella annetuksi täsmälleen suunnitelmassa edellytetty ja yllä olevassa yhdistelmässä mainittu määrä hehtaarille. Pieni poikkeus toiseen tai toiseen suuntaan ei vaikuta kuitenkaan mitään varsinaiseen koekysymykseen. Kertaus-sarjoja oli virtsapehkun multauskokeissa aina 4 kpl., tunkiolannan multauskokeissa sensijaan ainoastaan 3, paitsi v. 1939, jolloin niissäkin oli 4 kertausta. Ruutujen pieni koko ja kertauksien suhteellisen pieni lukumäärä koetettiin mahdollisuuksien mukaan korvata huolellisella töiden suorituksella. Siinä lieneekin onnistuttu siitä päätellen, että keskiarvojen keskivirheet ovat kohtuullisia. Nämät on laskettu suoraan punnitustuloksista, siis systemaatista virhettä huomioon ottamatta kaavan $m = \pm \sqrt{\frac{\Sigma v^2}{n(n-1)}}$ mukaan.

[1]) Varsinaisia sarkoja koekentillä ei todellisuudessa ollut, sillä maa oli salaojitettua. Mutta kun salaojat kulkivat ruutu-rivin suuntaan ja kun pelto oli syksyllä kynnetty siten, että ruutu-rivien molemmin puolin oli vesivaot, voidaan siinä mielessä puhua saroista.

Satotuloksia esittävissä taulukoissa XXIII ja XXIV mainittuja rehuyksikkömääriä laskettaessa on edellytetty, että 1 rehuyksikkö = 1.3 kg kauroja = 1.0 kg vehnää = 4 kg kauran olkia = 5 kg vehnän olkia = 2.5 kg heiniä.

2. *Virtsapehkukokeet.*

Kokeiden jäsentely oli seuraava:

1. Ilman lantaa
2. 10 ton. lantaa mullattu heti levityksen jälkeen.
3. 20 [1]) » » » » » »
4. 20 [1]) » » » 4 t. » »
5. 20 [1]) » » » 24 t. » »

Kokeisiin käytetty lanta oli kaikkina vuosina varastoitu 2—3 kk. ennen käyttöä tiiviiseen betonisäiliöön. Lannan kasvinravintoainepitoisuus samoinkuin eri vuosina hehtaarille annetut määrät selviävät taulukosta XXII s. 95.

Multausajaksi suunniteltiin ennakolta esim. lauantaipäivä kello 12.[2]) Tämän mukaan levitettiin punnittu lanta-annos koejäsenelle (5) (ks. jäsentely yllä) perjantaina kello 12 ja jäsenelle (4) lauantaina kello 8. Koejäsenille (2) ja (3) lanta levitettiin juuri ennen multaamiseen ryhtymistä, eli lauantaina kello 11.30—12. On tietenkin selvää, ettei multausta voitu toimittaa aivan sananmukaisesti heti levityksen jälkeen, vaan lanta joutui myöskin jäsenissä (2) ja (3) olemaan jonkin aikaa levitettynä ennenkuin ruudut kokonaisuudessaan tulivat käännetyiksi. Multaus toimitettiin v. 1939 kamara-auralla, edellisinä vuosina lapioäkeellä (Hankmo). V. 1938 kokeiden järjestelyn aikana satoi kuitenkin niin paljon, ja maa oli siksi märkää, ettei kentälle voitu viedä hevosia. Sen vuoksi kaikki ruudut käännettiin tadikoilla, myöskin O-ruudut. Hankmoaminen toimitettiin vasta seuraavana päivänä kahteen kertaan, eri kerroilla ajosuuntaa vaihtaen. Koekasvi kylvettiin heti muokkauksen päätyttyä. Viljakasvin kylvön jälkeen kylvettiin heinä (10 kg punaapilan ja 20 kg timotein kauppasiementä ha:lle) ja lopuksi maa jyrättiin.

[1]) V. 1938 käytettiin 20 tonnin asemasta vain 15 tonnia.

[2]) Todellisuudessa multaus ei suinkaan tapahtunut aina lauantaisin, vaan milloin minäkin viikonpäivänä. Todellinen aika selviää yhdistelmästä ed. sivulla. Näissä selostuksissa on ainoastaan yksinkertaisuuden vuoksi multaus-ajaksi oletettu sama päivä.

Taulukko XXII. *Multauskokeisiin käytetyn lannan kasvinravinto-ainepitoisuus ja hehtaarille annettu lannoitus vv. 1936—39.*

Tabelle XXII. *Pflanzennährstoffgehalt des für Unterbringungsversuche verwendeten Mistes, und Düngung je ha in den J. 1936—39.*

Vert. taul. XXIII ja XXIV. — *Vgl. Tab. XXIII und XXIV.*

Vuosi *Jahr*	ton/ha	Kuiva-aine *Trockensubstanz* ‰	Kuiva-aine *Trockensubstanz* kg/ha	Kokonaistyppi *Gesamtstickstoff* ‰	Kokonaistyppi *Gesamtstickstoff* kg/ha	NH_4^+-N ‰	NH_4^+-N kg/ha	NO_3-N ‰	NO_3-N kg/ha	K_2O ‰	K_2O kg/ha	P_2O_5 ‰	P_2O_5 kg/ha
Virtsapehku, NH_4^+-N-rikas — *Jauchetorf, reich an* NH_4^+-*N*													
1936 ..	10	181.4	1 814	6.31	63.1	4.26	42.6	0.05	0.5	8.60	86.0	—	—
	20		3 628		126.2		83.2		1.0		172.0		
1937 ..	10	134.6	1 346	4.70	47.0	3.45	34.5	0.05	0.5	10.52	105.2	0.21	2.1
	20		2 692		94.0		69.0		1.0		210.4		4.2
1938 ..	10	160.0	1 606	5.61	56.1	3.95	39.5	0.03	0.3	12.24	122.4	0.02?	0.2?
	15		2 409		84.2		59.3		0.5		183.6		0.3?
1939 ..	10	169.4	1 694	5.80	58.0	3.80	38.0	0.01	0.1	9.65	96.5	0.47	4.7
	20		3 388		116.0		76.0		0.2		193.0		9.4
Tavallinen, mudansekainen eläinlanta, NH_4^+-N-köyhä — *Gewöhnlicher Stallmist, gemischt mit Moostorf, arm an* NH_4^+-*N*													
1936 ..	20	208.4	4 168	2.95	59.0	0.163	3.3	0.035	0.7	4.58	91.6	—	—
	40		8 336		118.0		6.6		1.4		183.2		
1937 ..	20	208.2	4 164	3.69	73.8	0.76	15.2	0.01	0.2	5.24	104.8	1.37	27.4
	40		8 328		147.6		30.4		0.4		209.6		54.8
1938 ..	20	201.0	4 020	4.02	80.4	0.975	19.5	0.035	0.7	4.54	90.8	1.45	29.0
	40		8 040		160.8		39.0		1.4		181.6		58.0
1939 ..	20	190.6	3 812	4.55	91.0	1.08	21.6	0.01	0.2	6.84	136.8	1.55	31.0
	40		7 624		182.0		43.2		0.4		273.6		62.0

Kokeiden järjestelypäivinä vallinnut säätila selviää seuraavasta yhdistelmästä:

Vuosi	Sään laatu kokeiden järjestelyn kuluessa Perjantai-iltapäivä	Lauantai-aamupäivä
1936	Pilvipouta, heikko tuuli.	Pouta, ilma kostea, melk. tyven.
1937	Selkeä, navakka tuuli.	Selkeä, navakka tuuli.
1938	Klo 16.30 alkoi sade, jota jatkui iltaan asti (10 mm).	Ilma kostea. Tihkusadetta. Ajoittain tyyntä.
1939	Pouta, puolipilv., kohtal. tuuli. Ilma kuivaa.	Pouta, kohtal. tuuli.

Virtsapehkun multauskokeiden satotulokset esitetään taulukossa XXIII s. 97. Ensimäisinä koevuosina saadut sadon lisäykset osoittavat viipymättömän multauksen edullisuuden melko vakuuttavasti. Tämä ei tosin ilmene satotuloksista yhtä selvästi kuin se näkyi kasvun aikana koetta tarkastellessa. Tämä johtuu m. m. siitä, että kasvu oli v. 1937 hyvin voimakasta niilläkin ruuduilla, joissa lanta oli saanut olla koko päivän multaamatta. Sitäpaitsi oli O-jäsenenkin sato tällöin hyvin suuri, joten typpilannoituksella ei voinut odottaakaan erikoisen suurta sadon lisäystä. Edelleen on huomattava, että v. 1937 vilja lakoutui kaikilla lantaa saaneilla ruuduilla, eniten jäsenessä (3), joten haihtumatta jäänyt typpi ei päässyt vaikuttamaan koko tehollaan yksinomaan positiivisella tavalla. Vuonna 1938 saadut sadon lisäykset eivät myöskään kuvasta ammoniakin haihtumissuhteita täysin oikein. Sillä vähän sen jälkeen kun jäsenen (5) lanta oli levitetty, tuli melko runsas sade, joka ilmeisesti huuhteli levitettynä olleesta lannasta ammoniakkia maahan. Joka tapauksessa se laimensi lannan ammoniakkiliuosta hyvin paljon. Myöskin sen jälkeen kun jäsenen (4) lanta oli levitetty, satoi vähän. Jäseneen (3) syntyi v. 1938 jonkin verran lakoa, mikä mahdollisesti alensi satoa.

V. 1939 kevätkesä oli erittäin kuiva, josta johtui m. m., että laiho jäi harvaksi, eikä typpikään liene tällöin vaikuttanut koko tehollaan.

Näistä vastakkaiseen suuntaan enemmän tai vähemmän vaikuttaneista tekijöistä huolimatta viipymättömän multauksen edullisuus näkyy selvänä sadon lisäysten keskiarvoissa ensimäisenä koevuotena. Jälkivaikutusta tarkastellessa huomaa, että lannoituksen vaikutus oli korsiviljaa seuranneeseen heinään negatiivinen. Tämä ilmiö olisi ilman muuta selvä, jos sadon vähennys olisi syntynyt yksinomaan niillä ruuduilla, joissa suojavilja kasvoi erikoisen rehevästi ja lakoutui. Todellisuudessa heinäsadon pieneneminen oli kuitenkin selvä miltei kaikilla lantaa saaneilla ruuduilla. Tämän

Taulukko XXIII. *Virtsapehkun multauskokeet vv. 1936—39.*

Tabelle XXIII. *Unterbringungsversuche mit Jauchetorf 1936—39.*

Vert. taul. XXIV. — *Vgl. Tab. XXIV.*

Lannoitus ja multaus *Düngung und Unterbringung*	Vuosi *Jahr*	Sato ha:lta *Ertrag pro ha* Viljaa *Korn* dton	Olkia *Stroh* dton	Yht. r. y. *Zus. FE.*	Sadon lisäys *Mehrertrag FE.*	Sadon lisäys heinästä *Mehrertrag an Heu* Sato heiniä *Ertrag Heu* dton	Lisäys *Mehrertrag* dton	Lisäys *Mehrertrag* R. y. *FE.*	Lisäys yht. *Mehrertrag zusammen* R. y. *FE.*
1. Ilman lantaa — *Ohne Stallmist*	36	22.8±0.4	25.2	2 384	—	55.4±3.9	—	—	—
	37	31.5±0.4	50.0	4 150	—	56.8±2.3	—	—	—
	38	28.9±0.3	34.6	3 088	—	46.2±1.4	—	—	—
	39	19.0±1.1	20.4	1 970	—	38.8±3.0	—	—	—
Keskim. — *Mittel*		**25.55**	**32.55**	**2 898**	—	**49.3**	—	—	—
2. 10 ton mullattu heti — *10 ton/ha sofort untergebracht*	36	29.4±0.1	40.1	3 264	880	54.7±4.9	—0.7	— 28	852
	37	35.0±0.6	59.5	4 690	540	50.4±1.5	—6.4	—260	280
	38	34.6±0.7	42.9	3 734	646	46.7±1.4	+0.5	+ 20	666
	39	25.3±0.6	26.8	2 616	646	38.4±3.8	—0.4	— 16	630
Keskim. — *Mittel*		**31.07**	**42.32**	**3 576**	**678**	**47.5**	**—1.8**	**— 72**	**606**
3. 20 (15) ton mullattu heti — *20 (15) ton/ha sofort untergebracht*	36	30.2±0.3	42.4	3 379	995	49.0±3.0	—6.4	—256	739
	37	38.2±0.5	66.6	5 152	1 002	49.7±1.1	—7.1	—284	718
	38	33.4±0.3	44.6	3 684	596	44.5±0.4	—1.7	— 68	528
	39	30.0±1.1	34.0	3 158	1 188	38.0±5.0	—0.8	— 32	1 156
Keskim. — *Mittel*		**32.95**	**46.90**	**3 843**	**945**	**45.3**	**—4.0**	**—160**	**785**
4. 20 (15) ton mullattu 4 t. kulutt. — *20 (15) ton/ha untergebr. nach 4 St*	36	29.2±0.2	43.7	3 338	954	49.9±2.6	—5.5	—220	734
	37	35.6±0.3	64.9	4 978	828	51.0±1.3	—5.8	—232	596
	38	34.3±0.3	44.0	3 738	650	44.5±1.0	—1.7	— 68	582
	39	28.9±0.6	31.3	3 005	1 035	36.6±2.6	—2.2	— 88	947
Keskim. *Mittel*		**32.30**	**45.97**	**3 765**	**867**	**45.5**	**—3.8**	**—152**	**715**
5. 20 (15) ton mullattu 24 t. kuluttua — *20 (15) ton/ha untergebracht nach 24 St*	36	29.6±0.1	39.8	3 272	888	46.6±3.5	—8.8	—352	536
	37	35.6±0.2	62.1	4 802	652	55.4±0.8	—1.4	— 56	596
	38	34.6±0.2	42.6	3 737	649	43.3±2.2	—2.9	—116	533
	39	28.8±0.7	31.2	2 995	1 025	37.8±4.4	—1.0	— 40	985
Keskim. — *Mittel*		**32.15**	**43.92**	**3 701**	**803**	**45.8**	**—3.5**	**—140**	**663**

voisi otaksua johtuvan virtsapehkussa maahan tulleesta turpeesta ja sen maata hapattavasta vaikutuksesta. Turpeen määrä on kuitenkin, kuten taulukosta XXII (s. 95) voi päätellä niin vähäinen, ettei se voine olla ainakaan tärkeimpänä syynä heinäsadon alenemiseen. Tunkiolannan multauskokeiden tuloksista sitäpaitsi näkyy (taul. XXIV), ettei paljon suurempikaan turvemäärä alentanut heinäsatoa. Virtsapehkulla lannoitetuissa ruuduissa heinäsadon väheneminen oli

kasvun aikana selvästi nähtävissä. Se ilmeni siten, että apila oli kaikissa lannoitetuissa ruuduissa heikompaa ja sen lehtien väri vaaleampaa kuin 0-ruuduissa. Mistä tämä ilmiö pohjimmaltaan johtuu, ei ole selvitetty. Mutta luultavaa on, että virtsapehkun sisältämä melko suuri määrä helposti assimiloituvaa ammoniakkityppeä heikensi apilan taimien kehitystä silloinkin kun suojavilja ei lakoutunut. Kaikesta päättäen tässä on kysymyksessä sama ilmiö, jonka voi usein havaita silloin kun apilan suojaviljalle annetaan vähänkin huomattava mineraalinen typpilannoitus, ja varsinkin silloin kun se annetaan ammoniumsulfaatin muodossa. Sekin alentaa ensimäisen heinän satoa usein tuntuvasti, vaikkei suojaviljan lakoutuminen ole lähelläkään. Osittain tämä voi johtua ammoniumsulfaatin fysiologisesta happamuudesta, mutta lukuun on otettava myös se seikka, että muussakin muodossa annettu runsas typpilannoitus kiihoittaa suojaviljan juuriston kasvua ja aiheuttaa siten myös suurentuneen hapen kulutuksen maassa. Näin ollen on luultavaa, että nystyröiden kehitys nuoriin apilan juuriin häiriintyy, jos maassa on runsaasti epäorgaanisia, helposti assimiloituvia typpiyhdistyksiä. Tämän käytännölliselle kasvinviljelykselle epäilemättä hyvin tärkeän kysymyksen selvittäminen vaatii kuitenkin entistä tarkempia lisätutkimuksia. Näin sitäkin suuremmalla syyllä, kun apilan suojaviljalle annetun helppoliukoisen typpilannoituksen jälkivaikutuksen merkitystä selventävät koetulokset ovat kirjallisuudessa paitsi suhteellisen harvinaisia, myöskin ainoastaan summittaisia. Mutta esim. Iversenin (1938, s. 127 ja 134) julkaisemista tuloksista ilmenee selvästi, että virtsankin typen jälkivaikutus apilaan voi olla negatiivinen. Suojaviljana kasvaneelle kauralle annetun ammoniumsulfatin epäedullinen jälkivaikutus apilaan ilmenee m. m. Nielsen ja Westedin (1939, s. 167—169) esittämistä luvuista. Kokeiden selostuksista ei tosin käy päätteleminen, missä määrin apilan sadon aleneminen johtui suojaviljan lakoutumisesta, missä määrin taas muista syistä.

3. *Tunkiolannan multauskokeet.*

Kokeiden jäsentely oli seuraava:

1. Ilman eläinlantaa.
2. 20 ton lantaa mullattu heti levityksen jälkeen.
3. 40 » » » » » »
4. 40 » » » 6 t. » »
5. 40 » » » 24 t. » »
6. 40 » » » 3 pv. » »
7. 40 » » n. 100 kg suuruisina kasoina 3 pv., jonka jälkeen levitetty ja mullattu heti levityksen jälkeen.

Lanta oli kaikkina vuosina pantu jo talvella isoon tunkioon, josta vain keskusta käytettiin kokeisiin. Lanta oli tilan talouslantalasta otettua, runsaasti turvepehku- ja olkikuivikkeita sisältänyttä sekalantaa, johon tunkiota tehtäessä sekoitettiin hapanta mutaa (pH 4.2). Vuosina 1936 ja 1937 mutaa käytettiin lähes yhtä suuri tilavuus kuin lantaakin. Vuosina 1938 ja 1939 mutamäärä oli ainoastaan 25—30 % lannan tilavuudesta. Kahtena jälkimäisenä vuotena lannasta lähti pellolle levitettäessä hyvin heikko ammoniakin haju. Edellisinä vuosina ei hajua voinut ulko-ilmassa havaita.

Kokeisiin käytetyn tunkiolannan sisältämät kasvinravinto-aineet ja hehtaaria kohden käytetyt annokset selviävät taulukosta XXII.

Koemenetelmät olivat samat kuin virtsapehkulla suoritetuissa kokeissa (s. 94). Erilainen jäsentely edellytti kuitenkin toiset levitysajat. Jos otaksumme näissäkin kokeissa multaus-ajan suunnitelluksi lauantaipäiväksi kello 12, oli lannan levitys tapahtunut seuraavasti: Jäsenet (2) ja (3) juuri multauksen edellä, jäsen (4) lauantai-aamuna kello 6, jäsen (5) perjantaina kello 12, jäsen (6) keskiviikkona kello 12. Samaan aikaan vietiin myöskin jäsenelle (7) kuuluva lanta asianomaisille ruuduille, mutta lantaa ei tällöin vielä levitetty, vaan se jätettiin n. 100 kg kasoiksi maan pinnalle ja levitettiin vasta lauantaina välittömästi multauksen edellä.

Perjantain puolipäivästä lannan multaus-aikaan saakka vallinnut säätila on kuvattu s. 96 olevassa yhdistelmässä. Kahden edellisen vuorokauden sään laatu oli seuraava:

Vuosi	Keskiviikko, iltapäivä	Torstaipäivä	Perjantai, aamupäivä
1936	Selkeä, navakka tuuli	Pilvipouta, heikko tuuli	Pilvipouta, heikko tuuli
1937	Pilvipouta, kohtalainen tuuli	Pilvistä, sumua ja heikkoa sadetta	Kirkasta, navakka tuuli
1938	Tuulinen pilvipouta	Aamup. pouta, iltap. sadetta	Sadetta, heikko tuuli
1939	Tuulinen pouta	Tuulinen pouta	Pouta, heikko tuuli

Multaus- ja kylvötyöt suoritettiin samaan tapaan kuin edellä on mainittu virtsapehkulla suoritetuista kokeista.

Satotulokset

esitetään taulukossa XXIV s. 101. Vaikka näihin kokeisiin käytetyn lannan ammoniumtypen määrä oli suhteellisen alhainen, voidaan viipymättömän multauksen edullisuus kuitenkin havaita. Typen menetyksen täytyi tästä runsaasti happamia aineita sisältäneestä lan-

nasta kuitenkin olla varsin vähäistä. Ja sitä ilmenikin ainoastaan ensimäisten tuntien aikana. Muutamien tuntien perästä multauksen lisä-viipyminen ei enää alentanut satoa niin paljon, että sen voisi kenttäkokeilla todeta. Päinvastoin sato näytti eräissä tapauksissa multauksen viipymisestä lisääntyneenkin. Osittain tämä lienee johtunut lannan levityksen jälkeen sattuneista sateista. Mudan-sekoituksesta jollakin tavoin johtunee, että koejäsenessä (7), jossa lanta oli ennen levitystä 3 pv. pikku kasoina, saatiin lähimain yhtä hyvä, toisinaan parempikin sato kuin jäsenessä (3), jossa lanta mullattiin heti levityksen jälkeen. On otaksuttavissa, että hyvin paljon mutaa sisältävässä lannassa tapahtuu ilman vaikutuksen johdosta joitakin edullisia muutoksia, joiden myönteinen vaikutus on suurempi kuin suhteellisen vähäisen ammoniakin menetyksen aiheuttama sadon vähennys. Mitkä tapahtumat tässä lähinnä tulisivat kysymykseen, en ole lähemmin tutkinut.

Ammoniakkirikkaalla virtsapehkulla ja laihemmalla tunkiolannalla suoritettujen kokeiden tuloksia keskenään verrattaessa voidaan näiden lantojen vaikutuksessa yleensä ja niiden suhtautumisessa multauksen viipymiseen havaita eräitä oleellisia eroja:

1. Suuremman ammoniakkimäärän vuoksi virtsapehkun vaikutus oli nopeampi kuin tunkiolannan, jonka vaikutus sen sijaan oli kestävämpi, mikä ilmeisesti johtuu tunkiolannassa annetuista suuremmista fosfati-, kali- ja kokonaistyppimääristä.

2. Virtsapehku apilanurmen suojaviljalle annettuna vähensi ensimäisen heinän satoa samaan tapaan kuin ammoniumsulfatinkin on todettu vaikuttavan. Tunkiolannan vaikutus sen sijaan oli heinäänkin selvästi positivinen.

3. Kun tunkiolanta sai olla levitettynä 6 t., osoitti sadon väheneminen heti mullattuun verrattuna huomattavan ammoniakkimäärän haihtuneen. Mutta multauksen siitä edelleen viipyessä ei sato enää alentunut. Virtsapehkun antaman sadon lisäyksen säännöllinen väheneminen sitä mukaa kuin multaus viipyi, osoitti ammoniakin haihtumisen jatkuneen ainakin vuorokauden ajan.

Lannan NH_4^+-N-pitoisuudella on kenttäkokeiden samoinkuin laboratoriokokeidenkin mukaan haihtumishäviöön huomattava vaikutus siten, että ammoniakkirikkaammasta haihtuminen on ollut nopeampaa kuin laihemmasta lannasta. Tämän mukaan lannan multaus on siis pyrittävä suorittamaan sitä nopeammin, mitä ammoniakkirikkaampaa lanta on. Mutta kun ammoniakki on sidottu hyvin suureen mutamäärään, eivät haihtumishäviöt muodostu suuriksi, vaikka multaus viipyisikin. Sama päämäärä voitaisiin ilmeisesti saavuttaa pelkällä turvepehkulla ilman mutaakin. Mutta niin suurien pehku-

Taulukko XXIV. *Mudansekaisen eläinlannan multauskokeet vv. 1936–39.*
Tabelle XXIV. *Unterbringungsversuche mit Stallmist, mit Moostorf gemischt, in den J. 1936—39.*

Vert. taul. XXIII. — *Vgl. Tab. XXIII.*

Lannoitus ja multaus *Düngung und Unterbringung*	Vuosi *Jahr*	Sato ha:lta *Ertrag je ha* Viljaa *Korn* dton	Olkia *Stroh* dton	Yht. r. y. *Zus. FE.*	Sadonlisäys r. y. *Mehrertr. je ha FE.*	Jälkivaikutus *Nachwirkung* Sato heinää *Ertag Heu* dton	Lisäys r. y. *Mehrertr. FE.*	Lisäys yht. r. y. *Mehrertr. zus. FE.*
1. Ilman lantaa *Ohne Stallmist*	36	19.5±1.0	21.4	2 035		58.5±3.5		
	37	28.2±0.5	44.9	3 718	—	55.0±1.3	—	—
	38	22.6±0.6	27.2	2 418		40.7±2.2		
	39	14.8±0.8	16.9	1 560	—	39.8±1.6	—	—
Keskim. — *Mittel*		**21.28**	**27.60**	**2 433**	—	**48.50**		
2. 20 ton mullattu heti — *20 ton, sofort untergebracht*	36	23.6±0.5	26.8	2 485	450	68.9±2.8	416	866
	37	32.1±0.8	52.3	4 256	538	57.1±2.4	84	622
	38	24.5±0.3	30.8	2 655	237	49.2±2.0	340	577
	39	18.7±1.1	19.7	1 930	370	44.6±2.3	192	562
Keskim. — *Mittel*		**24.72**	**32.40**	**2 832**	**399**	**54.95**	**258**	**657**
3. 40 ton mullattu heti — *40 ton, sofort untergebracht*	36	25.2±0.8	29.8	2 683	648	71.3±3.1	512	1 160
	37	34.0±0.8	55.3	4 506	788	59.5±3.0	180	968
	38	26.6±0.2	33.5	2 883	465	50.4±2.1	388	853
	39	21.3±1.1	22.6	2 203	643	44.3±1.9	180	823
Keskim. — *Mittel*		**26.78**	**35.30**	**3 069**	**636**	**56.40**	**315**	**951**
4. 40 ton mullattu 6 t. levityksen jälkeen — *40 ton, nach 6 St untergebracht*	36	24.0±0.7	27.7	2 538	503	71.3±1.3	512	1 015
	37	33.0±0.3	53.4	4 368	650	59.1±3.5	164	814
	38	26.4±0.5	33.1	2 858	440	48.6±1.6	316	756
	39	19.4±0.7	21.7	2 034	474	47.0±2.8	288	762
Keskim. — *Mittel*		**25.70**	**33.97**	**2 950**	**517**	**56.50**	**320**	**837**
5. 40 ton, 24 t. levit. jälk. — *40 ton, nach 24 St untergebracht . . .*	36	23.9±0.9	27.9	2 535	500	69.3±1.9	432	932
	37	33.4±0.2	52.2	4 384	666	62.6±1.3	304	970
	38	26.3±0.4	33.0	2 848	430	45.6±0.2	196	626
	39	20.0±0.8	21.2	2 068	508	49.4±0.9	384	892
Keskim. — *Mittel*		**25.90**	**33.57**	**2 959**	**526**	**56.70**	**329**	**855**
6. 40 ton, 3 pv. levit. jälk. — *40 ton, 3 Tage . . .*	36	23.1±1.4	26.2	2 432	397	68.2±1.3	388	785
	37	33.1±0.5	53.8	4 386	668	63.4±1.9	336	1 004
	38	26.5±0.7	32.8	2 858	440	49.7±0.7	360	800
	39	21.1±1.2	22.0	2 173	613	48.7±3.1	356	969
Keskim. — *Mittel*		**25.95**	**33.70**	**2 962**	**529**	**57.50**	**360**	**889**
7. 40 ton 3 pv. kasoina — *40 ton, 3 Tage in Haufen, dann sof. untergebracht*	36	23.0±0.8	24.7	2 386	351	66.4±3.9	316	667
	37	34.3±0.6	55.7	4 544	826	64.0±2.1	360	1 186
	38	26.5±0.6	32.2	2 843	425	47.5±2.1	272	697
	39	22.0±1.5	22.9	2 264	704	47.2±1.9	296	1 000
Keskim. — *Mittel*		**26.45**	**33.87**	**3 009**	**576**	**59.30**	**311**	**887**

määrien käyttö kuin tähän tarvittaisiin, on useimmissa tapauksissa käytännössä mahdotonta. Sen vuoksi on usein edullisempaa lisätä turvepehkun vaikutusta mudalla, koska se tulee tavallisesti halvemmaksi kuin pehku.

Kentällä ja laboratoriossa suoritettujen kokeiden tulokset ovat siinä suhteessa yhtäpitäviä, että haihtumishäviön voidaan molemmissa todeta olleen nopeinta ensi tunteina levityksen jälkeen. Ammoniakin haihtumisen yleinen kulku ei kuitenkaan käy kenttäkokeista niin selvästi ilmi kuin laboratoriossa suoritetuista välittömistä mittauksista. Sillä puhtaasti käytännölliset syyt rajoittavat kenttähavaintojen lukumäärän hyvin pieneksi. Kentällä ei ole myöskään mahdollista järjestää koe-olosuhteita sellaisiksi, että kulloinkin ainoastaan yksi tekijä vaihtelisi. Päinvastoin voi esim. sattua, kuten todella on tapahtunutkin, että säätila muuttuu oleellisesti kokeiden järjestelyn kestäessä. Selvää on, että esim. tällöin sattuva sade aiheuttaa niin suuren ja niin vaikeasti arvioitavan häiriön kokeisiin, ettei ammoniakin haihtumisen kulku ollenkaan selviä sadon lisäyksistä. Niinpä voi kenttäkokeissa sattua, että koko vuorokauden ajan levitettynä ollut lanta saatuaan heti levityksen jälkeen päälleen runsaan sateen, antaa suuremman sadon lisäyksen kuin poutasäällä vain muutaman tunnin ajan levitettynä ollut lanta. Sadonlisäysten suuruus on riippuvainen useista muistakin tulosten tulkintaa suuresti vaikeuttavista tekijöistä. Niinpä esim. vuoden 1939 kenttäkokeita järjestettäessä on hyvin todennäköisesti käynyt niin, että kauan levitettynä ollut lanta hidastutti maan liiallista kuivumista, mikä luultavasti tapahtui »heti mullatuissa» koejäsenissä. Kun veden puute oli tällöin jo kasvukauden alusta lähtien selvästi minimitekijänä, on otaksuttavissa, että kauan levitettynä olleen lannan alla säilynyt kosteus korvasi haihtumisen vuoksi menetetyn ammoniakin joko osittain tai kokonaan.

Tämän tapaisista häiriöistä johtuen mitä tarkimminkin kentällä suoritetuista multaus-aikakokeista saadaan hyvin helposti näennäisesti ristiriitaisia tuloksia. Siitä johtuen ammoniakin haihtumisen kulku tuskin onkaan riittävän tarkasti yksinomaan kenttäkokeilla selvitettävissä. Tämän mahdollisimman tarkka tunteminen on kuitenkin eräs tietoperäisen lannan hoidon ja käytön sekä siihen kohdistuvan käytännöllisen neuvontatoiminnan tärkeimmistä perusteista.

V. Yhteenveto ja johtopäätelmät.

Kokeista, jotka suoritettiin johtamalla kohtalaista tuulta vastaava ilmavirta pienten, tutkittavat keo-objektit sisältäneiden haihdutus-astioiden kautta, selviää m. m.:

1. että maahan levitetystä virtsasta tai lannasta ammoniakkina haihtuvan typpimäärän suuruus on riippuvainen käytetyn lannoitteen NH_4^+-N-väkevyydestä siten, että typen häviö on sekä totaalisesti että suhteellisesti sitä suurempi, mitä korkeampi NH_4^+-N-pitoisuus on. (NH_4^+-N:llä tarkoitetaan tällöin summaa NH_4^+ + NH_3). Tutkituissa koe-olosuhteissa haihtuminen riippui käytetyn virtsan NH_4^+-N-väkevyydestä suunnilleen seuraavalla tavalla:

Jos väkevyyden ollessa = a haihtunut määrä todettiin = b, oli

väkevyyden	laskiessa	arvoon $\frac{a}{2}$	haihtunut	määrä	noin	$\frac{b}{3}$
»	»	» $\frac{a}{3}$	»	»	»	$\frac{b}{6}$
»	»	» $\frac{a}{4}$	»	»	»	$\frac{b}{10}$

Väkevyyden siis pienentyessä esim. neljännekseen alkuperäisestä väheni haihtuminen vastaavasti noin kymmenenteen osaan.

Maan omalla kosteustilalla ja imemiskyvyllä on hyvin suuri vaikutus haihtumishäviön suuruuteen siten, että haihtuminen on kuivasta maasta nopeampaa kuin kosteammasta, mikä johtuu siitä, että virtsa kosteassa maassa laimenee enemmän ja imeytyy syvemmälle kuin kuivassa maassa. Jos maa on kuitenkin niin märkää, ettei se enää kykene imemään annettua nestemäärää, muodostuu haihtumishäviö suureksi.

2. Nurmelle levitetystä virtsasta ammoniakki haihtuu varsinkin ensi tunteina erikoisen nopeasti. Hyvin säilyneellä virtsalla nurmea lannoitettaessa olisi levitys toimitettava sateen aikana. Ellei se ole mahdollista, olisi virtsa laimennettava niin suurella vesimäärällä, että NH_4^+-N-pitoisuus laskee alle 1 ‰. Silloin haihtumistappio jää suhteellisen alhaiseksi. Käytännössä laimentaminen ta-

pahtuu mukavimmin ja luultavasti myös tehokkaimmin siten, että heti virtsan levityksen jälkeen ruiskutetaan lannoitetulle alalle pelkkää vettä.

3. N. s. avomaata virtsalla lannoitettaessa levitys on joko toimitettava itsemultaavalla levittäjällä tai on muulla tavoin huolehdittava siitä, että multaus tapahtuu viipymättä, sillä laimentamattoman virtsan typestä saattaa neljäs osa hävitä jo ensimäisten 3—4 tunnin kuluessa.

4. Lukuisissa tutkituissa tapauksissa, sikäli kuin ulkoiset olosuhteet pysyivät muuttumattomina, voidaan haihtunut ammoniakkimäärä (= y) ajan (= t) funktiona kuvata yhtälöllä

$$y = y_1 + k \times \log t,$$

jossa y_1 ja k ovat vakioita. Tästä yhtälöstä ilmenee, että ammoniakin haihtumisnopeus

$$\frac{dy}{dx} = \frac{0{,}4343 \times k}{t},$$

on kääntäen verrannollinen aikaan. Jos siis haihtunut määrä oli ensimäisen tunnin aikana esim. 10 kg N/ha, haihtui seuraavina tunteina suunnilleen 5.0—3.3—2.5—2.0—1.7—1.4 j. n. e. kg/ha. Tästä lukujonosta ilmenee, että ensimäiset tunnit ovat puheen alaisessa suhteessa ratkaisevia.

Eräissä tutkituissa tapauksissa yllä esitetty haihtumisnopeuden yhtälö piti likimääräisesti paikkansa t:n arvoon = 119 tuntiin saakka. Käytännössä olosuhteet eivät kuitenkaan pysy näin kauan siinä määrin vakioina, että mainitulla kaavalla saataisiin luotettavia arvoja miten pitkiin aikoihin nähden tahansa. Mutta ratkaisevinta haihtumisen suhteen onkin yleensä se, mitä tapahtuu 10 ensimäisen tunnin kuluessa. Ja tämän ajan yhtälö pätee kaikkiin tutkittuihin tapauksiin nähden, joissa hehtaaria kohden käytetyt NH_4 -N-määrät ovat vaihdelleet noin 20—110 kiloon, joissa rajoissa käytännössäkin annettavat typpimäärät yleensä vaihtelevat. Jo 10:kin tunnin aikana olosuhteissa voi tiettävästi tapahtua haihtumisen kulkuun suuresti vaikuttavia, joko haihtumista vilkastuttavia tai hidastuttavia muutoksia, jolloin yhtälön avulla lasketut määrät poikkeavat todellisista enemmän tai vähemmän. Niinpä voivat lämpötila ja tuulen nopeus muuttua huomattavasti. Levityksen jälkeen voi tulla myös sade, joka keskeyttää haihtumisen joko osaksi tai kokonaan. Eräässä tutkitussa tapauksessa 2 mm sade vähensi haihtumisen niin pieneksi, ettei 6 tunnin kuluessa haihtunut mitattavia ammoniakkimääriä.

5. Olosuhteissa, joissa tuuletus-ilma johdetaan virtsan tai lantasuspension lävitse sellaisella nopeudella, että kaasu- ja nestefaasien ammoniakkikonsentratiot ehtivät saavuttaa *Henryn lain* mukaisen tasapainon, on haihtumisnopeus kääntäen verrannollinen liuoksen vetyionikonsentratioon sillä reaktio-alueella, joka lannan käsittelyssä yleensä tulee kysymykseen. Tällöin pätee liuoksen keskimääräinen reaktio, jota voidaan pitää samana kuin varsinaisen haihtumispinnan reaktio, koska liuos alituisessa liikkeessä ollessaan sekaantuu perusteellisesti. Maahan levitetystä lannasta tai virtsasta puheen ollen kysymys on mutkikkaampi Tällöin on tehtävä ero varsinaisen haihtumispinnan, siis sen systeemin, josta haihtuminen tapahtuu, ja lantarakeiden keskimääräisen reaktion välillä. Havaitut seikat viittaavat siihen, että emäksisestä lannasta tapahtuva ammoniakin haihtuminen on nopeampaa kuin etupäässä diffusiona tapahtuva ammoniakin siirtyminen lantarakeiden sisästä pinnalle. Tämän vuoksi ammoniakin paine alenee pintakerroksessa, ja vetyionikonsentratio suurenee lantarakeissa keskimäärin vallitsevaan olotilaan verrattuna. Haihtumispinnan reaktiota ei tosin ole voitu erikseen mitata. Mutta sen sijaan on selvitetty, että keskimäärin emäksisestä lannasta tapahtuva ammoniakin haihtumisnopeus voi olla useita kymmeniä kertoja pienempi kuin lannan keskimääräisen reaktion perusteella laskien saataisiin nopeuden arvoksi. Tutkituissa tapauksissa todellinen ja laskettu haihtumisnopeus olivat samaa suuruusluokkaa vasta sitten kun keskimääräinen reaktioluku oli laskenut pH 6 vaiheille. Tämän mukaan voidaan päätellä, että vallinneissa olosuhteissa pinnalta tapahtuva haihtumisnopeus ja lantarakeiden sisältä pintaan päin suuntautunut diffusionopeus vastasivat toisiaan keskimääräisen vetyionikonsentration kohottua pH 6 vaiheille.

6. Viileällä säällä on ammoniakin haihtuminen levitetystä virtsasta aluksi huomattavasti hitaampaa kuin esim. 10° C lämpöisemmällä ilmalla. Mutta multauksen jäädessä kokonaan toimittamatta ei alhaisen lämpötilan vallitessa levitetyn virtsan typen kokonaishäviö kuitenkaan näytä jäävän kovinkaan paljon pienemmäksi kuin jonkin verran lämpöisemmällä ilmalla levitetyn virtsan, jos ulkonaiset olosuhteet muuten ovat samat. Mutta kun haihtuminen on viileällä ilmalla joka tapauksessa aluksi paljon hitaampaa kuin lämpöisellä, on alhainen lämpötila levitykselle edullisempi erikoisesti sen vuoksi, että silloin on paremmat mahdollisuudet toimittaa multauskin ennen kuin haihtumistappio on ehtinyt kohota hyvin suureksi.

Ammoniakkirikkaan lannan levittäminen hangelle on ilmeisen epäedullista. Sama on asianlaita läpäisemättömäksi jäätyneelle maalle tapahtuvaan virtsan levitykseen nähden. Sillä on osoitettu, että NH_3 haihtuu jäätyneestäkin lannasta verraten nopeasti.

7. Suureen turvepehkumäärään imeytetyn virtsan vedessä tislautuva typpimäärä vähenee säilytyksen aikana huomattavasti. Mutta tämä ei kuitenkaan merkitse typen katoa, vaan ainoastaan ammoniakin muuttumista NH_4^+:ksi sekä sen lisäksi osittain myös luultavasti amino- tai valkuaistypen muotoon.

8. NH_4^+-N säilyy vähenemättömänä suhteellisen pienessäkin turvepehkumäärässä, jos säilytys-olosuhteet ovat sellaiset, että kaasujen vaihtuminen estyy, s. o. lantapatterin ollessa kyllin tiivis ja kunnollisesti peitetty. Muussa tapauksessa patterin pintakerroksen NH_4^+-N-pitoisuus ajanmittaan pienenee käytettyjen kuivikkeiden laadusta riippumatta hyvin pieneksi. Tämän vuoksi on pienien ja matalien tunkioiden kunnollinen peittäminen erikoisen tärkeätä.

9. Virtsalla imeytetty ilmakuiva turvepehku kykenee imemään ja kohtalaisen puristuksenkin alaisena pidättämään paljon suuremman määrän virtsaa kuin siitä kehittyvää ammoniakkia. Virtsapehku voi helposti sisältää 60—80 g NH_4^+-N:ä pehkun kuiva-ainekiloa kohden. Mutta kun näin ammoniakkirikas lanta levitetään, haihtuu n. $^3/_4$ ammoniumtypestä muutamien tuntien aikana ilmaan, sillä hyväkään pehku ei sido riittävän lujasti yleensä enempää ammoniumtyppeä kuin 10—20 g turpeen kuiva-ainekiloa kohden. Riittävän lujasti sitoutuneeksi on tällöin katsottu se typpimäärä, joka 4-tuntisen tehokkaan tuuletuksen tapahduttua on turpeessa jäljellä.

10. Käytännössä olisi pyrittävä käyttämään turvepehkua kuivikkeena niin paljon, että lannan reaktioluku laskee huomattavasti neutraalikohdan alapuolelle, kernaimmin pH 6.5 vaiheille, eli siihen arvoon, jota Tuorila on jo aikaisemmin suositellut.

11. Se Tuorilan määritelmä, jonka mukaan 1 kg hyvin hapanta, kuivaa *Sph. fuscum*-turvetta riittää pidättämään lehmän virtsasta päivää ja 100 elopainokiloa kohden kehittyvän ammoniakin, on osoittautunut varsin hyvin paikkansa pitäväksi. Käytännössä tämä edellyttää 4—6 ilmakuivan pehkukilon käyttöä lehmää ja päivää kohden. Lannan reaktioluku laskee tällöin pH 6.5 vaiheille, jolloin ammoniakin haihtuminen on niin hidasta, että lannan multaus on käytännössäkin mahdollista ennen kuin haihtumishäviö ehtii kohota suureksi. Reaktion painaminen niin alas, ettei mitattavia ammoniakkimääriä ollenkaan haihtuisi, on ilmeisesti mahdollista happaman pehkun avulla. Mutta siihen tarvitaan hyvin suuria pehkumääriä.

12. Niin kauan kuin lanta on huolellisesti mudalla t. m. s. peitettynä tunkiona, jolloin olosuhteet patterin sisässä siis jossain määrin vastaavat tiiviissä virtsakaivossa vallitsevia olosuhteita, säilyy ammoniakki yleensä vähin tappioin, vaikka turvetta käytettäisiin

huomattavasti vähemmänkin, esim. 2 kg lehmää ja päivää kohden. Tällöin on lanta kuitenkin vielä vahvasti emäksistä (edellyttäen, että kaikki virtsa on mukana). Ja kun patteri puretaan ja lanta levitetään, kohoaa emäksisyys ensimäisen 1/2 tunnin kuluessa vielä huomattavasti. Siitä seuraa haihtuvaisuusfaktorin ja haihtumisnopeuden huomattava nousu, ja typen kato voi muodostua pehkun käytöstä huolimatta varsin suureksi. Riittävän suurien pehkumäärien käyttö ei ole kuitenkaan taloudellisista syistä kaikkialla mahdollista. Mutta puuttuva pehkumäärä voidaan usein korvata happamalla mudalla, joka tulee tavallisesti halvemmaksi kuin turvepehku. Muta olisi ajettava peltotunkioon samaan aikaan kuin lantakin, jotta nämät sekaantuisivat hyvin.

13. Kenttäkokeet ovat osoittaneet, että hyvin suureen mutamäärään sekoitetun lannan teho ei ole alentunut mainittavasti silloinkaan kun se on ollut tuulisella kevätilmalla 3 päivää levitettynä.

14. Ammoniakkirikas virtsapehku apilanurmen suojaviljalle annettuna on alentanut apilan satoa samaan tapaan kuin ammoniumsulfatinkin on havaittu vaikuttavan. Tämä negatiivinen jälkivaikutus on ollut selvä silloinkin kun suojaviljan kasvu on ollut suhteellisen heikkoa, eikä sen lakoutumisesta ole näkynyt merkkiäkään. Mutarikas tunkiolanta on vaikuttanut apilaankin edullisesti.

Kirjallisuutta.

AARNIO, B. **1939** — Mineralogian, geologian ja maaperäopin oppikirja, Porvoo/Helsinki, 1939, p. 1—163 + kartta.

BEINERT, KARL **1934** — Der wirtschaftseigene Dünger, Berlin, 1934, p. 1—128.

BENGTSON, N. och BARTHELL, CHR. **1935** — Bidrag till frågan om stallgödselkvävets nitrifikation i åkerjorden (Kungl. Landtbruks-akademiens H. o. T., **5,** p. 719—744 + Summary).

KRISTENSEN, R. K. **1919** — Konservering af Ajle (Tidsskr. for Pl. p. 485 — 490 + Summary).

EGNÉR, HANS **1932** — Stallgödselns kväveförluster genom ammoniakavdunstning (Medd. **409** från Centralanst. för försöksväs. på jordbruksomr., Avdelningen för lantbrukskemi, **48,** p. 1—37).

VON FEILITZEN, HJALMAR **1911** — Undersökningar över olika inströmedel i ladugården och deras inverkan på gödselns sammansättning, förändringar under lagringen och värden på åkern (Sv. Mosskulturf. Tidskr., 1911, p. 1—16).

—»— **1914** — Ett femårigt gödslingsförsök med nötkreatursgödsel med torfströ, halm eller sågspån som inströmedel (Sv. Mosskulturf. Tidskr., 1914, p. 273—282).

GABRIEL, A. **1939** — Versuche, betreffend Erhaltung des Stockstoffes in der Jauche durch Zusatz von Superphosphat (Bodenk. u. Pflanzenernährung, **12 (57),** p. 303—315).

GERLACH, M. **1919** — Über die Konservierung, den Düngerwert und die Verwendung der Jauche (Landw. Jahrb., **53,** p. 77—107).

GLAERUM, O. **1938** — Problemer innen husdyrgjødselspørsmålet. Referat for Norge (Beretn. om N. J. F:s **6.** Kongres, p. 577—579).

HANSEN, FRODE **1927** — Staldgødningsundersøgelser I (Tidsskr. f. Pl., **33,** p. 753—782).

—»— **1928** — Undersøgelser over Kvaelstofomsaetningen i Agerjord (Tidsskr. f. Pl., **34,** p. 741—776 + Summary).

—»— **1929** — Undersøgelser over Kvaelstofomsaetning i Agerjord. II (Tidsskr. f. Pl., **35,** p. 713—252 + Summary).

HANSEN, NIELS ANTON **1928** — Gødningsforsøg paa Forsøgsstationen ved Aarslev 1911—1926 (Tidsskr. f. Pl., **34,** p. 373—523).

HEINRICH, R. — NOLTE, O. **1918** — Dünger und Düngen. Berlin, 1918, p. I—VII + 1—158.

HELLMANN, G. **1919** — Über die Bewegung der Luft in den untersten Schichten der Atmosphäre. Siteerattu teoksesta GEIGER, RUDOLF 1927 — Das klima der Bodennahen Luftschicht (Die Wissenschaft. Band **78,** Braunschweig, 1927, p. 71—72).

HONCAMP, F. und BLANCK, E. **1916** — Über die Konservierung und Düngerwirkung des Jauche-Stickstoffes (Arbeiten der D. L. G. **282,** p. 1—181).

HONCAMP, F. **1931** — Die Anwendung der Naturdünger, p. 234—274 (Handbuch der Pflanzenernährung und Düngerlehre, zweiter Band. Berlin, 1931).

HONKAVAARA, T. 1936 Ennakkotietoja karjanlantakokeista Etelä-Pohjanmaan kasvinviljelyskoeasemalla vv. 1934—35 (Valtion Maatalouskoetoiminnan Tiedonantoja, **113**, p. 1—28).

IVERSEN, KARSTEN 1927 — Gødningsforsøg paa Forsøgsstationen ved Askov og Lyngby (Tidsskr. f. Pl., **33**, p. 557—752).

—»— 1934 — Fordampningstabet ved Ajlens Udbringning. 1928—33 (Tidsskr. f. Pl., **40**, p. 169—234).

—»— 1937 — Forskellige Opbevarings- og Udførselstider for Staldgødning. 1929—35 (Tidsskr. f. Pl., **42**, p. 471—518).

—»— 1938 — Forsøg med Ajlens Anvendelse. Askov 1929—1937 (Tidsskr. f. Pl., **43**, p. 112—144).

—»— 1938 a — Problemer innen husdyrgjødselspørsmålet. Referat for Danmark (Beretn. om N. J. F:s 6. Kongres, p. 571—576).

JENSEN, S. TOVBORG- 1928 — Undersøgelser over Ammoniakfordampning i Forbindelse med Kvaelstoftab ved Udbringning af naturlige Gødninger. I. Ajle (Tidsskr. f. Pl., **34**, p. 117—146 + Summary).

—»— 1929 — Undersøgelser over Ammoniakfordampning i Forbindelse med Kvaelstoftab ved Udbringning af naturlige Gødninger. II. Ajle (Tidsskr. f. Pl., **35**, p. 59—79 + Summary).

—»— 1930 — Untersuchungen über Ammoniakentbindung und Stickstoffverluste bei der Düngung mit Jauche (Wissenschaftl. Archiv für Landwirtschaft—Abteilung A—Pflanzenbau, **3**, p. 161—180).

JÄNNES, JUHO 1910 — Beitrag zur Kenntnis der Stickstoffabgaben einer dünnen auf Erde lagernden Mistschicht. Hannover, 1910.

LEMMERMANN, O. und FRESENIUS, L. 1913 — Beitrag zur Frage der Ammoniakverdunstung aus dem Boden (Landw. Jahrb. 1913, p. 127—154).

LIECHTI, P. und RITTER, E. 1910 — Ueber das Entweichen von Ammoniak aus Gülle während und nach dem Ausbringen derselben (Landw. Jahrb. d. Schweiz, **24**, p. 481).

—»— 1913 — Ueber das Entweichen von Ammoniak aus begülltem Boden (Landw. Jahrb. d. Schweiz, **27**, p. 429).

NEHRING, K. 1939 — Über die Erhaltung des Stickstoffgehaltes der Jauche durch Zusatz von Superphosphat und Torf (Bodenkunde u. Pflanzenernährung, **12 (57)**, p. 289—302).

NIELSEN, N. J. og WESTED, JACOB 1939 — Gødningsforsøg paa Forsøgsstationen ved Studsgaard 1929—36 (Tidsskr. f. Pl., **44**, p. 158—185).

NOLTE, OTTO 1919 — Die Erhaltung des Stockstoffes in der Jauche und im Stallmist (Landw. Versuchsst., **92**, p. 187—203).

—»— 1920 — Über die Ursache der Stockstoffverluste aus Jauche und Stallmist (Landw. Versuchsst., **96**, p. 309—324).

NOLTE, O. und POMMER, E. 1921 — Über die Ursache der Stockstoffverluste von Harn, Kot und anderen organischen Substanzen (Landw. Versuchsst., **97**, p. 245—260).

NORDBERG, B. K. ja SUHONEN, E. 1939 — Navettahygienisiä tutkimuksia (Maataloustiet. aikakauskirja, 1939, **2**, p. 213—229 + Referat: Kuhstallhygienische Untersuchungen).

PERMAN, O. 1937 — En ny typ av gödselränna avsedd för ladugårdar, där gödselvården anordnats efter urinbrunnsmetoden (Kungl. Landtbruks-Akademiens H. o. T., 1937, **1**, p. 43—52).

—»— 1938 — Problem i stallgödselfråga. Referat för Sverige (Beretn. om N. J. F:s 6. Kongres, p. 582—586).

RINDELL, ARTHUR **1928** — Maan lannoittaminen. (Maa ja Metsä, Porvoo, 1928, p. 253—362).

RUSCHMANN, G. **1931** — Natürlicher und künstlicher Stalldünger, Jauche u. Gülle (HONCAMP, F.: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngerlehre, zweiter Band. Berlin, 1931, p. 162—234).

SPRINGER, U. **1939** — Zur Methodik der Stallmistuntersuchung (Bodenkunde u. Pflanzenernährung, **12 (57)**, p. 84—121).

STUTZER, A. und VOGELER, P. **1906** — Beziehungen zwischen der Behandlung der Jauche und deren Gehalt an wichtigen düngenden Bestandteilen (Fühl. landw. Ztg, **55**, p. 338—348).

STUTZER, A. **1919** — Die Verhinderung der Verflüchtigung von Ammoniakstickstoff durch Chlorcalcium (Fühl. landw. Ztg, **68**, p. 59—63).

—»— und HONCAMP, F. **1928** — Die Behandlung und Anwendung von Stalldünger und Jauche. Berlin, 1928, p. I—VII + 1—147.

SVINHUFVUD, E. G. **1925** — Kuivikkeiden ja hoidon vaikutus karjanlannan tehoon (Suomen Suoviljelysyhdistyksen Vuosikirja 1925, p. 91—99).

—»— **1929** — Suon polttoviljelyksen vaikutuksen selvittelyä. Helsinki, 1929, p. 1—95.

TREADWELL, F. P. **1937** — Lehrbuch der analytischen Chemie. II Band. Elfte Auflage. Leipzig und Wien, 1937, p. I—IX + 1—757 + 8 Tab.

TUORILA, PAULI **1928** — Wirkung der Kalziumkarbonat- und Schwefelsäurezugaben auf die Azidität von verschiedenen Torfarten (Wissensch. Veröffentl. des Finnischen Moorkulturvereins, **8**, p. 1—75).

—»— **1929** — Bindungsvermögen verschiedener Torfarten für Stickstoff in Form von Ammoniak (Wissensch. Veröffentl. des Finnischen Moorkulturvereins, **9**, p. 1—47).

—»— **1941** — Karjanlannan, väkilannoitteiden ja kalkkikivijauhon käytöstä vuoden 1941 maataloustuotantotaistelussa, Helsinki, 1941.

TUORILA, PAULI ja TAINIO, AARNE **1934** — Karjanlannan talvilevityksestä. Kenttäkokeiden tuloksia vuosilta 1928—1933 (Valtion Maatalouskoetoiminnan Julkaisuja, **64**, p. 1—46).

WAGNER, PAUL **1897** — Forschungen über den relativen Düngerwert und die Konservierung des Stallmiststickstoffes (Landw. Versuchsstationen, **48**, p. 247—360).

VALMARI, J. **1921** — Untersuchungen über die Behandlung des Stalldüngers (Arbeiten der Finnischen Landwirtschaftl. Versuchsstation, **14**).

—»— **1938** — Maanviljelyskemian perusteita. Porvoo—Helsinki, 1938, p. 1—324.

—»— ja SALONEN, M. **1940** — Lannoitusoppi, Porvoo—Helsinki, 1940, p. 1—366 + 34 taulukkoa.

VIRTANEN, A. I. **1935** — Virtsan kokoomuksesta, talteenotosta ja hyväksikäytöstä (Karjatalous 1935, **11**, p. 336—342).

WESTED, JACOB og IVERSEN, KARSTEN **1938** — Ajlens Nedbringning med Ajlenedfaelder (Tidsskr. f. Pl., **43**, p. 145—158).

ÅSLANDER, ALFR. **1938** — En fosfatgödslingsmetod (Landtmannen, 1938, p. 1177—1178).

—»— **1940** — Undersökningar rörande en fosfatgödslingsmetod (Kungl. Lantbruksakademiens Tidskrift, 1940, **5**, p. 385—387 + Summary: A method of phosphate application).

Referat.

Versuche und Untersuchungen über Stalldünger.

Über Stickstoffverluste in Form von Ammoniakverdunstung.

In der vorliegenden Untersuchung ist den Stickstoffverlusten des Stalldüngers, die in Form von Ammoniakverdunstung nach der Ausbreitung von Dünger oder Jauche entstehen, die Hauptaufmerksamkeit zugewandt worden.

Zu Beginn der Arbeit (S. 9—13) werden die allgemeinen chemischen und physikalischen Gründe der Ammoniakverdunstung behandelt.

Auf den Seiten 14—35 wird auf Grund des Schrifttums eine Übersicht über die früheren Versuche und Untersuchungen gegeben, die sich auf die Aufbewahrung des Stalldüngers und insbesondere auf die Verdunstung des Ammoniaks beziehen.

Verfassers eigene Untersuchungen, an der im Kirchspiel Kokemäki gelegenen Pflanzenbau-Versuchsstation von Satakunta ausgeführt, werden von S. 36 an dargestellt. Anfangs wird über die bei den Laboratoriumsversuchen befolgten allgemeinen Methoden berichtet. Die Ammoniakmengen, die aus den zu untersuchenden Proben bei ca. 20° C und bei starkem Wind (in Bodennähe ca. 2—3 m/sek) verdunstet waren, wurden gesammelt mit im einzelnen bedeutend veränderten, den Prinzipien nach aber gleichartigen Vorrichtungen, wie sie u. a. LIECHTI und RITTER sowie TOVBORG-JENSEN zuvor bei ähnlichen Untersuchungen benutzt haben. Die Messungen der Verdunstung von Ammoniak wurden sowohl in bezug auf Jauche als auch auf Jauchetorf ausgeführt, welche auf verschiedenen Böden in verschiedenen Mengen ausgebreitet wurden. Besondere Aufmerksamkeit galt der Bedeutung des NH_4^+-N-Gehalts der Jauche sowie mit Rücksicht auf die Jauchetorf auch der Bedeutung und den Veränderungen ihrer Wasserstoffionenkonzentration während der Verdunstung. Aus dem bei den Versuchen verwendeten Jauchetorf wurden zahlreiche Ammoniakdestillationen angestellt, durch welche die Schwankungen der durch verschieden starke Methoden destillierten Stickstoffmengen während einer Aufbewahrung von ca. 2 ½ Monaten Dauer herausgestellt werden sollten.

Bei den Versuchen zeigte sich folgendes:

Die in Wasser destillierende Stickstoffmenge des in eine kleine Torfstreumenge aufgesogenen Harns nahm während der Aufbewahrung zu. Dagegen nahm die in Wasser destillierende Stickstoffmenge des in einer grossen Streumenge enthaltenen Harns ab. Doch verschwand sie nicht, sondern verwandelte sich in NH_4^+ und teilweise auch in organische Stickstoffverbindungen.

Lufttrockene Torfstreu *(Sph. fuscum)* vermag eine mehrfach grössere Menge Harn aufzusaugen als aus ihm sich entwickelndes Ammoniak zu absorbieren. Saurer Torf band ziemlich fest eine ca. 10—20 g Stickstoff entsprechende Ammoniakmenge je kg Torftrockensubstanz. Unter einer ziemlich fest gebundenen Ammoniakmenge ist hier die Ammoniakmenge zu verstehen, die nach 4-stündiger intensiver Lüftung noch im Torf vorhanden ist.

Saugt der Torf mehr Harn auf, als sein Ammoniakbindungsvermögen voraussetzt, also mehr als 10—20 g je kg Torftrockensubstanz, so verdunstet das überflüssige Ammoniak bald, und im allgemeinen um so rascher, je grösser jener Überschuss ist. So war der NH_4^+-N-Gehalt der verschiedenen Jauchetorfe nach 1—2-tägiger Lüftung, beinahe unabhängig von dem ursprünglichen Stickstoffgehalt, gleicher Grössenordnung.

Der Verlauf der Ammoniakverdunstung erwies sich unter den bei den Versuchen bestehenden wechselnden Verhältnissen als von der NH_4^+-N-Konzentration der Jauche abhängig, und zwar in folgender Weise:

War die Konzentration = 1, so verdunstete in der Zeiteinheit = 1
» » » = ½ » » » » » ca. $^1/_3$
» » » = $^1/_3$ » » » » » ca. $^1/_6$
» » » = ¼ » » » » » ca. $^1/_{10}$

Aus diesen Zahlen geht hervor, dass das Verdünnen von Jauche mit einer grossen Wassermenge den Verdunstungsverlust bedeutend vermindert. In der Praxis kommt die Verdünnung bei der Düngung von Wiesen, auf denen die Jauche nicht untergebracht werden kann, in erster Linie in Frage. Da die Jauche schon im Behälter, wie es sich sehr häufig verhält, so verdünnt ist, dass ihr NH_4^+-N-Gehalt unter 1 $^0/_{00}$ ist, mag sich eine weitere Verdünnung im allgemeinen nicht lohnen.

Der Verdunstungsverlust verringert sich bei zunehmender Bodenfeuchtigkeit, soweit der Boden nicht so nass ist, dass er Feuchtigkeit nicht mehr aufzusaugen vermag.

Das Steigen der Temperatur auf 10° C vermehrte den Stickstoffverlust im Anfangsstadium der Verdunstung auf ungefähr das Doppelte. Wurde aber der Dünger überhaupt nicht mit Erde bedeckt, so bestand in der Grösse des Verlustes letztens kein nennenswerter Unterschied, breitete man doch die Jauche bei wärmerem oder kühlerem Wetter aus, während die Verhältnisse im übrigen dieselben waren.

Der nach der Ausbreitung der Jauche gefallene, 2 mm hohe Regen beendete im grossen ganzen die Verdunstung völlig. Es ist daher am vorteilhaftesten, nach Möglichkeit die Jauche bei Sprühregen auszubreiten, besonders auf Wiesen, auf denen das Arbeiten auch bei Regen möglich ist.

In aus Jauchetorf hergestellter Suspension, die von Luft durchströmt wurde, verhielt sich die Verdunstungsgeschwindigkeit des Ammoniaks umgekehrt proportional zur durchschnittlichen Wasserstoffionenkonzentration der Suspension. Aus ausgebreitetem Dünger (ca. 16.5 ton/ha) vollzog sich die Verdunstung in den ersten Stunden der Lüftung sogar mehrere zehnmal langsamer, als sich durch Berechnung nach der durchschnittlichen Reaktion als Verdunstungsgeschwindigkeit ergab. Der Unterschied beruht offenbar darauf, dass die Verdunstungsgeschwindigkeit in einem Gebiet basischer und auch noch schwach saurer Reaktion schneller ist als das Diffundieren des Ammoniaks aus dem Innern der Düngerkörner an deren Oberfläche. Die Reaktion dieser eigentlichen Verdunstungsfläche vermindert sich daher bei sich fortsetzender Verdunstung schneller als die Reaktion des Düngers im Mittel, und der Unterschied ist um so grösser, je dicker die Düngerschicht ist, um die es sich handelt. Nachdem sich die durchschnittliche Reaktion auf pH 6 und darunter gesenkt hatte, ergaben sich experimentell und durch Berechnung dieselben Verdunstungsgeschwindigkeiten, wonach zu schliessen die Verdunstungs- und die Diffu-

sionsgeschwindigkeiten dann einander entsprachen. Auf der Langsamkeit der Diffusion beruht es offenbar, dass die Verdunstungsgeschwindigkeit auch sonst nicht immer zunimmt in dem Verhältnis, wie die Veränderung der durchschnittlichen Verhältnisse voraussetzen müsste, nämlich dann, wenn der Wert des auf die Verdunstungsgeschwindigkeit einwirkenden Faktors gross wird. So wächst die Verdunstung annähernd in gleichem Verhältnis wie z. B. die Geschwindigkeit des Windes nur dann, wenn die Lüftung schwach ist. Bei starkem Wind kann zwischen der Gas- und den NH_3-Konzentrationen der Flüssigkeitsphasen kein Gleichgewicht entstehen. Daher wirkt die weitere Steigerung eines zuvor schon schnellen Luftwechsels auch nicht nennenswert auf die Verdunstungsgeschwindigkeit ein.

$[H^+]$ des aus einem dichten Behälter genommenen Düngers verringerte sich in den untersuchten Fällen in den ersten Minuten der Lüftung um ca. 0.1—0.5 pH-Einheiten. Nachdem die Reaktionszahl nach ca. 20—30 Minuten ihren höchsten Wert erreicht hatte, begann sie bei sich fortsetzender Lüftung zu sinken; bis zu etwa pH 6.5 war das Sinken rasch, danach allmählich verlangsamend.

Die graphische Darstellung der Verdunstung als Funktion der Zeit bildete in allen untersuchten Fällen eine logarithmische Kurve. Die in einer Zeiteinheit verdunstete Ammoniakmenge (y) verhielt sich umgekehrt proportional zu der seit der Ausbreitung vergangenen Zeit (t). Wenn die binnen 1 und 10 Stunden verdunsteten Mengen (y_1) und (y_{10}) bekannt sind, ergeben sich die während verschieden langen Zeiten verdunsteten Mengen nach der Gleichung $y = y_1 + k \times \log t$, in welcher die Konstante $k = y_{10} \div y_1$. Die Verdunstungsgeschwindigkeit zu einem beliebigen Zeitpunkt beläuft sich dann auf

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\log_{10} e \times k}{t}$$

Die Gültigkeit der Formel setzt voraus, dass die auf die Verdunstung einwirkenden Faktoren (abgesehen von der durch die Verdunstung selbst bewirkten Veränderung von $[H^+]$) Konstanten bleiben. Da sie aber im allgemeinen nicht solche bleiben, kann der Wert von t auch im allgemeinen nicht grösser als etwa 10 Stunden sein, obschon die Gleichung bei Laboratoriumsversuchen in gewissen Fällen über 100 Stunden gültig sein kann. In bezug auf die Anfangsphase der Verdunstung (ca. $^1/_2$ Stunde) gibt die Gleichung ebenfalls nicht immer mit den Versuchen übereinstimmende Werte. In der Natur können die Verhältnisse sich in sogar kurzen Zeiten verändern, so dass die Verdunstungskurve in der Natur nicht immer so regelmässig ausfällt wie bei Laboratoriumsversuchen. Doch ist nicht zu bezweifeln, dass die Vorgänge der ersten Stunden auch in der Natur die Grösse des durch die Verdunstung verursachten Verlustes entscheiden. Das wird auch durch die Ergebnisse der Feldversuche deutlich erwiesen.
